



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut
Maaehituse ja veemajanduse õppetool

Henn Tomson

**NÕUKOGUDE AJAL (1940-1991) EHITATUD
PUTKARKASSELAMUTE SEISUKORD JA
RENOVEERIMISE VÕIMALUSED**

TECHNICAL SITUATION OF WOODEN FRAME BUILDINGS
BUILT DURING THE ESTONIAN SOVIET SOCIALIST
REPUBLIC (1940-1991) AND POSSIBILITIES FOR
RENOVATING

Magistritöö
Maaehituse õppekava

Juhendajad: nooremteadur Martti-Jaan Miljan, MSc
spetsialist Matis Miljan, BSc

Tartu 2019

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Henn Tomson		Õppekava: Maaehitus	
Pealkiri: Nõukogude ajal (1940-1991) ehitatud puitkarkasselamute seisukord ja renoveerimise võimalused			
Lehekülgi:68	Jooniseid: 29	Tabeleid: 32	Lisasid: 1
Osakond:		Maaehituse ja veemajanduse õppetool	
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-ikood:		Tsiviilehitus (T220)	
Juhendaja(d):		Martti-Jaan Miljan MSc, Matis Miljan BSc	
Kaitsmiskoht ja aasta:		Tartu, 2019	
<p>Märgatavalt suur osa eestlasi elab vananenud ja renoveerimist vajavates puitkarkasselamutes, mille ehitusaastad jäävad Nõukogude Liidu aegadesse. Käesolev magistritöö annab viie elamu põhjal ülevaate Nõukogude Eestis ehitatud puitkarkasselamute seisukordadest, pakkudes ühtlasi välja võimalusi renoveerimiseks.</p> <p>Antud uurimuses hinnati elamute seisukorda visuaalsel teel arvutades välja hoone füüsiline kulum. Termografeerimine viidi läbi hoone siseselt. Piirete õhupidavust mõõdeti ventilaatoriga survestamise meetodil. Kindlal ajaperioodil salvestati andmesalvestiga elamute suhteline õhuniiskus ja sisetemperatuur. Hoone omanikel lasti täita ankeetküsitlus, mille põhjal analüüsiti elanike harjumusi ja rahulolu.</p> <p>Uuritavate elamute tehniline seisukord oli rahuldav. Esineb külmasildasid ja õhulekkeid. On kohti, kus esineb oht hallituse ja veeauru kondenseerumise tekkele. Viimistluskihid vajavad valdavalt värskendust. Välispiirded vajavad lisasoojustamist, et täita soovituslikult nõutud välispiirete soojuslähivused. Mõõteperioodil oli keskmine sisetemperatuur 21°C ja keskmine suhteline õhuniiskus 33,9%. Uuritud elamute keskmine õhulekkearv on 10,95 m³/(h*m²) ja keskmine õhuvahetuskordus 13,61 h⁻¹.</p> <p>Leitud on elamute välisseinte arvutuslik soojusjuhtivus ning on pakutud võimalusi selle parandamiseks. Pakutavad renoveerimisvõimalused on üldistavad ning renoveerimistöödel tuleks konkreetse hoone kohta koostada eraldi renoveerimisprojekt.</p> <p>Uurimuses saadud tulemusi saab tulevikus kasutada võrdlusena elamute tehnilise seisukorra uuringutes.</p>			
Märksõnad: ehitise tehniline seisukord, puitkarkasselamu, sisekliima, termograafia			

Estonian University of Life Sciences		Abstract of Master's Thesis	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Author: Henn Tomson		Specialty: Rural Engineering	
Title: Technical situation of wooden frame buildings built during the Estonian Soviet Socialist Republic (1940-1991) and possibilities for renovating			
Pages: 68	Figures: 29	Tables: 32	Appendixes: 1
Department:		Chair of Rural Building and Water Management	
Field of research and (CERC S) code:		Civil engineering (T220)	
Supervisors:		Martti-Jaan Miljan MSc, Matis Miljan BSc	
Place and date:		Tartu 2019	
<p>A significant amount of Estonians live in old and in bad condition timber framed houses, which were built during the Estonian Soviet Socialist Republic (1940-1991). The aim of this Master's thesis is to evaluate the technical condition of five timber frame houses built in Soviet Estonia and also to suggest renovation solutions.</p> <p>In this present study the condition of the houses was evaluated using visual assessment and by calculating buildings physical depreciation. Thermocamera images were made to determine thermal bridges. Airtightness of the building envelope was measured by fan pressurization method. The relative humidity and temperature of the houses were recorded with a data logger. To evaluate and analyze the habits and satisfaction of the residents, a questionnaire was conducted.</p> <p>The technical condition of the houses was acceptable. There were thermal bridges and air leakages. Low-temperature indexes indicate that there is a risk of mould damage and water vapour condensation. In most of the houses finishing layers need renewing. External constructions need additional insulation to reach the required threshold of thermal transmittance. During the measurement period, the average indoor temperature was 21°C and average relative humidity was 33,9%. The average air leakage rate was 10,95 m³/(h*m²) and average air change rate was 13,61 h⁻¹.</p> <p>External wall thermal transmittance was calculated and solutions were suggested to improve the condition. Recommended renovation possibilities were mostly general and in order to start the renovation, it is necessary to conduct a renovation project.</p>			
Keywords: technical condition of a building, timber framed house, indoor climate, thermography			

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. KIRJANDUSE ANALÜÜS JA UURITAVATE ELAMUTE ÜLEVAADE	7
1.1 Puitkarkasselamud Nõukogude Eestis ja mujal maailmas	7
1.2 Varasematest puidust elamute seisukorra uuringutest.....	12
1.3 Uuritavate elamute tutvustus ja ajalugu	14
1.3.1 Uuritav puitkarkasselamu nr. 1	15
1.3.2 Uuritav puitkarkasselamu nr. 2	16
1.3.3 Uuritav puitkarkasselamu nr. 3	17
1.3.4 Uuritav puitkarkasselamu nr. 4	18
1.3.5 Uuritav puitkarkasselamu nr. 5	19
2. ELAMUTE EHITUSTEHNILISE SEISUKORRA HINDAMINE EHITUSFÜÜSIKALISTE MÕÕTMISTE TEEL	20
2.1 Ehitise tehnilise seisukorra hindamine visuaalsel teel	20
2.2 Hoonete elanike rahuloluküsitlus	21
2.3 Termografeerimine ja külmasillad	21
2.4 Siseõhu temperatuur ja suhteline õhuniiskus	24
2.5 Hoonepiirete õhupidavus.....	27
3. TULEMUSED.....	30
3.1 Hoone füüsilise kulumise määramine ning tehnilise seisukorra hinnang visuaalsel teel	30
3.2 Hoone elanike rahulolu	36
3.3 Termograafia tulemused.....	39
3.4 Sisekliima tulemused.....	44
3.5 Piirete õhupidavuse tulemused.....	48
4. RENOVEERIMISVÕIMALUSED.....	51
4.1 Hoonepiirete soojusläbivus	51
4.2 Hoonete soojapidavuse parandamise võimalused	52
KOKKUVÕTE.....	57
KASUTATUD KIRJANDUS	60
LISAD	63
Lisa 1. Hoonete füüsilise kulumi tabelid.....	64

SISSEJUHATUS

Märgatav hulk eestlasi elab aastakümneid vanades elamutes. Antud magistritöö pöörab rõhku Nõukogude Eestis ehitatud puitkarkasselamutele, mille massiline ehitamine sai alguse kohe peale teist maailmasõda, kui sõjaga oli hävinenud 56% varasemast elamufondist [19]. Kallinevate energia hindadega pööratakse tänapäeval aina enam rõhku elamu soojapidavusele. Sellest tulenevalt karmistatakse elamu energiatõhususe miinimum nõudeid, millele oma eluea lõppu jõudnud nõukogude ajal ehitatud elamud enam ei vasta.

Lõputöö eesmärgiks oli hinnata 5 eramu näitel Tartu linnas aastatel 1940-1991 ehitatud puitkarkasseramuid. Hinnati eramute ehitustehnilist seisukorda, sisekliimat ja antakse soovitusi renoveerimistöödeks. Kõik teostatavad mõõtmised viidi läbi mittepurustaval meetodil ilma hoone piirdeid avamata. Elamute tarindite kohta informatsioon saadi visuaalsel vaatlusel, omanike küsitlusel ja Tartu linnaplaneeringute ja ehitusprojektide arhiivist saadud andmete põhjal.

Kui antud magistritöö hindab Nõukogude Eestis ehitatud puitkarkasselamute seisukorda ja pakub välja renoveerimisvõimalusi, siis juhendajal oli paralleelselt lisaks sellega veel kaks magistritööd, mis hindasid samal metoodikal enne esimest maailmasõda Eesti Vabariigi ajal aastatel 1918-1940 ja taasiseseisvunud Eestis peale 1991 aastat ehitatud puitkarkasselamuid. Kasutatud on sarnast metoodikat, et hiljem kogutud andmete põhjal oleks võimalik võrrelda erinevatel perioodidel ehitatud puitkarkasselamuid. Sarnaseid metoodikaid on kasutatud ka varasemalt ehitiste tehnilise seisukorra hindamistel.

Magistritöö koosneb neljast peatükist. Esimeses peatükis antakse lühiülevaade puitkarkasselamute ajaloost, minnes detailsemaks Nõukogude Eestis ehitatud puitkarkasselamutega. Kirjeldatud on antud ajastul enim kasutatud soojustusmaterjalide ehitusfüüsikalisi omadusi. Antakse ülevaade varasematest sarnastest uuringutest ja saadud tulemustest. Kirjeldatakse viite Tartu linnas asuvat puitkarkasselamut.

Teine peatükk kirjeldab metoodikat, mille alusel puitkarkasselamuid hinnati. Metoodika põhineb viiel tähtsamal punktil. Hinnati hoone ehitustehnilist seisukorda ja leiti füüsilise kulumise määr, kasutades AS „Kommunaalprojekt-i“ poolt koostatud ja Eesti Riikliku

Elamuameti poolt kinnitatud hoonete füüsilise kulumise määramise tabeleid. Ankeetküsitluse abil, mida on varasemalt kasutatud erinevates Eesti eluasemefondi ehitustehnilise seisukorra uuringutes, andsid elanikud enda hinnangu oma elamispinnast [1]. Külmasildasid vaadeldi hoonesisese termografeerimise teel ning hiljem hinnati nende kriitilisust. Sisekliimat mõõdeti Hobo U12-011 andmesalvestaja abil, salvestades teatud ajaperioodil iga 30 minuti tagant ruumi temperatuur ja suhteline õhuniiskus. Hoone piirete õhupidavust mõõdeti ventilaatoriga survestamise meetodil.

Kolmandas peatükis on analüüsitud saadud tulemusi. Visuaalsel hindamisel on väljatoodud tarindite probleemsemad kohad ning hiljem on arvutatud kasutades füüsilise kulumise tabeleid hoone kulum. Elanikeküsitlus koosneb valikvariantidega küsimustest ning hindamisskaalast, kus iga punkti kohta hinnang tuleb anda ühest kuni seitsmeni skaalal. Termografeerimisel tehtud termopilte töödeldakse programmis *Flir Tools+* ja võrreldakse saadud tulemusi Eesti niiskustehniliselt turvaliste temperatuuriindeksi piirväärtustega, tuues välja millistes kohtades on oht veeauru kondenseerumisele ja hallituse tekkele. Kogutud sisekliima andmetele tehakse *MS Excelis* andmeanalüüs ja võrreldakse saadud tulemusi sisekliima klassidega. Hoonete piirete õhupidavus viiakse läbi ventilaatoriga ala- ja ülerõhu tekitamise meetodil, kasutades seadmena *BlowerDoor-i*. Nii ala, kui ülerõhu puhul tekitatakse rõhud (-60Pa ja 60Pa) 10Pa sammuga.

Neljas peatükk koosneb renoveerimise võimalustest. Tuuakse välja tänapäevased soovituslikud piirete miinimum nõuded. Kasutades veebipõhist soojusjuhtivuse arvutamise programmi *U-wert*, leitakse olemasolevate välisseinte arvutuslikud soojusjuhtivuse väärtused (W/m²K) ning pakutakse välja nendele seinakonstruktsioonidele võimalused lisasoojustamiseks. Lisaks antakse lühiülevaade teiste tarindite renoveerimisvõimalustest.

Autor tänab uuringus osalenud elamute elanikke uuringus osalemise eest. Autor avaldab tänu juhendajatele Martti-Jaan Miljanile ja Matis Miljanile kasulike soovitude ning juhendamise eest ja Jaan Miljanile magistritöö teema välja pakkumise ning konsulteerimise eest.

1. KIRJANDUSE ANALÜÜS JA UURITAVATE ELAMUTE ÜLEVAADE

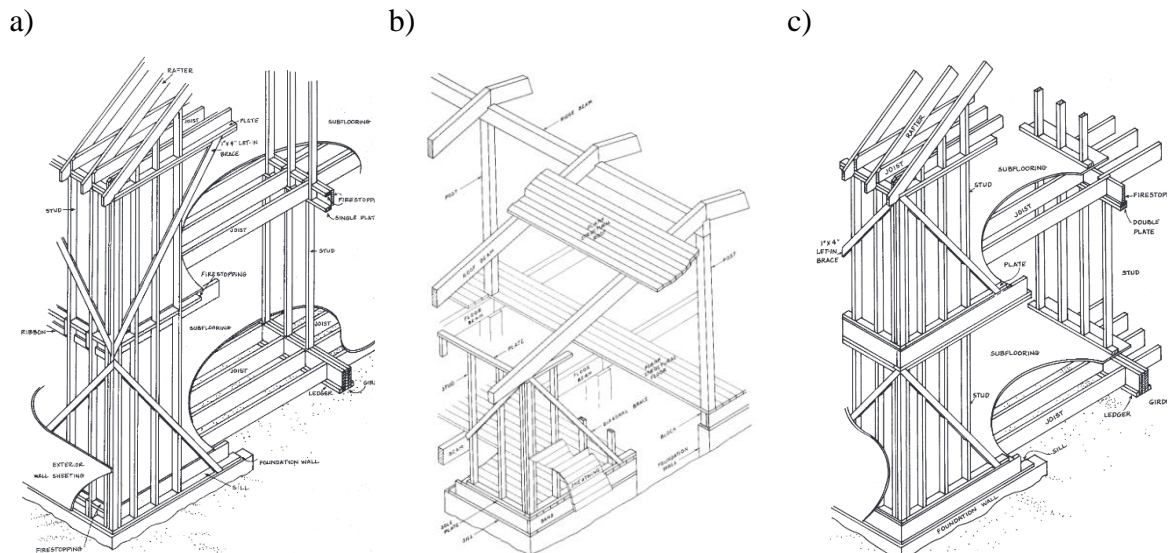
1.1 Puitkarkasselamud Nõukogude Eestis ja mujal maailmas

Puitkarkasshooned on levinud üle terve Euroopa, nende ehitamine sai alguse riikidest, kus polnud piisavalt metsamaad palkmajade ehitamiseks [31]. Laialdasem levik maailmas sai alguse 19. sajandil, kui võeti kasutusele metallnaelad, mis võimaldasid detailide kokku naelutamisel luua tugevaid, kuid kerge kaaluga puitkarkasse [29]. Eestis hakkasid puitkarkasselamud levima 20. sajandil vahetult enne Esimest maailmasõda [1]. Tänapäeva puitkarkasselamute lahendused pärinevad algselt Põhja-Ameerikast, kust said alguse kolm peamist tüüpi: balloon sõrestik, platvormsõrestik ning posti ja tala sõrestik [29].

Balloon sõrestik ehk läbi korruse ulatuv sõrestik on puitkarkass, kus kandvaseina karkassipostid ulatuvad vundamendist läbi teise korruse kuni sarikateni ning kus vahelae võõtalad, millele toetuvad laetalad kinnituvad välisseina karkassipostide siseküljele [31]. Näide *balloon* sõrestikust on toodud joonisel 1.

Posti ja tala sõrestikkonstruksiooni puhul kasutatakse hoone konstruktiivseid osasid koormuste jaotamiseks. Näiteks horisontaaltaladelt kanduvad koormused vertikaaltaladele. Selle meetodiga on saab ehitamisel postid panna suure sammuga, kuid ühtlasi nõuab meetod puitmaterjali, mis oleks piisava läbimõõduga vastu võtmaks suuremaid koormusi. Näide posti ja tala sõrestikust on joonisel 1. [30,32]

Platvormsõrestik on puitkarkassi tüüp, kus iga korrus on eraldi postide ja taladega toetatud. Ehitamist alustatakse esmalt esimese korruse põrandast, seejärel ehitatakse kandev seinakarkass ning seinakarkassile toetuv vahelagi ja teise korruse põrand. Vahelae ehitusele järgneb teise korruse seinte ehitus teise korruse põranda peale. Näide platvormsõrestikust on joonisel 1. [30,31]



Joonis 1. Puitkarkasside tüübid. a) *balloon* sõrestik; b) post ja tala sõrestik; c) platvormsõrestik [30,32].

Individuaalmajade ehitamine Nõukogude Eestis sai hoogu vahetult peale II maailmasõda. Selleks et ehitatavad individuaalmajad ja -krundid oleksid optimaalse suurusega viis 1940. aastal riik läbi arhitektuurivõistlusi, mille tulemusena tekkisid esimesed tüüpprojektid. Jõukamad elanikud eelistasid valmisprojektidele individuaalprojekte. Individuaalprojektid olid kallid, kuid nende järgi ehitamine oli prestiiži küsimus. [19]

Nõukogude Eestis ehitatud individuaalelamute liigid olid: eramud, kahe korteriga elamud ja ridaelamud. Kõigi kolme liigi iseloomustavaks tunnuseks oli korteriga vahetus ühenduses olev aed. Seinatarinditena olid peamiselt kasutusel kivist kandvad kergseinad ja puitvälisseinad. Antud magistritöö käsitleb vaid elamuid, mille välisseinte kandev konstruktsioon on puitkarkassist ehk puitkarkasselamuid. [3]

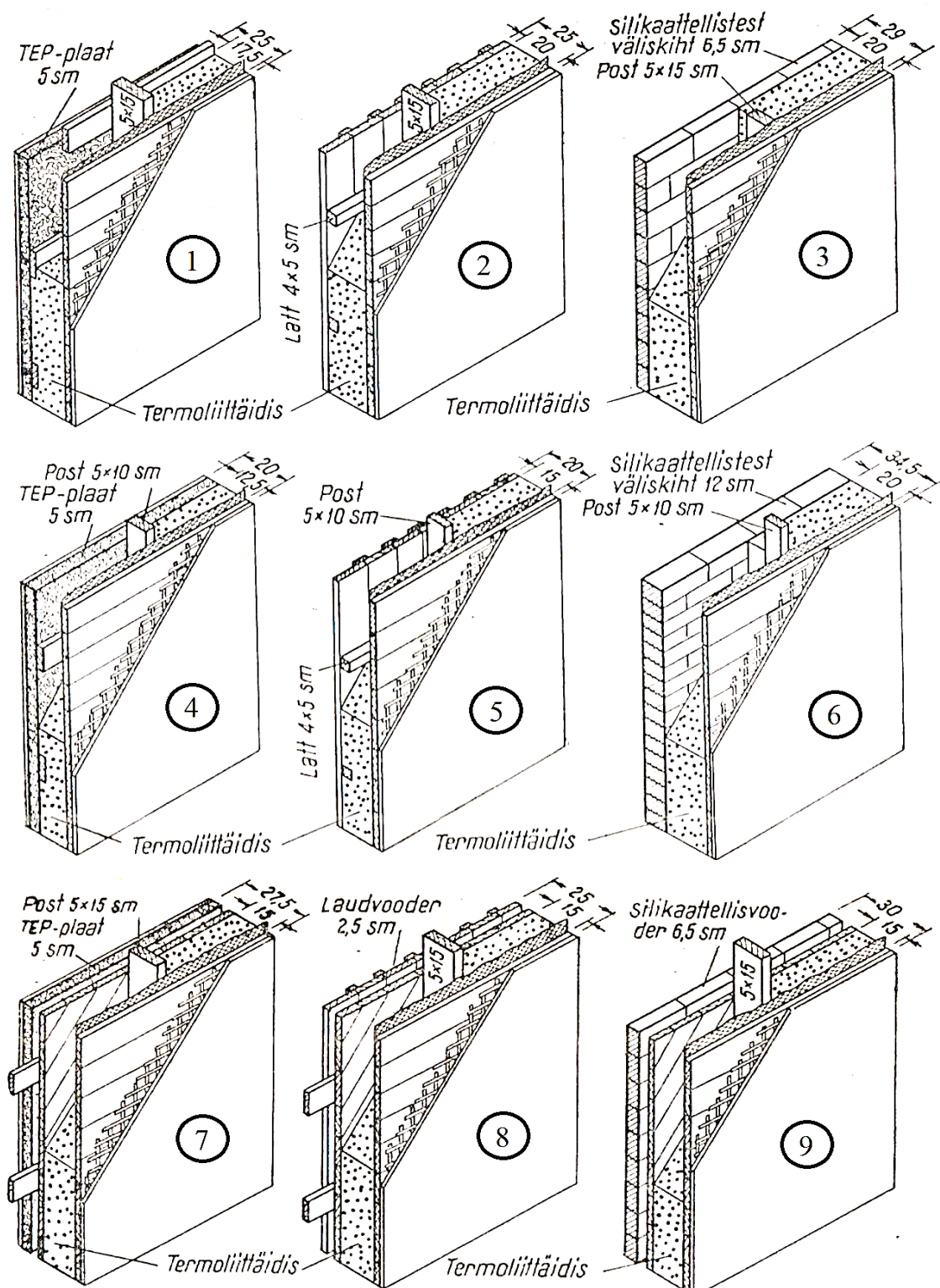
Puitkarkasselamute ehitamine oli tunduvalt soodsam kivimajadest. Märgatav hinnavahe oli ka võrreldes palkmajadega. Näiteks andis puitkarkasselamute ehitamine võrreldes rõhtpalkseintega 2-3 korda puitmaterjali säästu. Lisaks, kui kasutati voodrina TEP plaati võis puitmaterjali kokkuhoid ulatuda kuni kümnekordseks võrreldes palkseintega. Sellegipoolest ehitati paljud elamud telliskividest, kuna tellis oli kättesaadavam materjal ning selle püstitamine oli puitkarkass-seinast kiirem – kõige soojema tüüpkonstruktsiooniga tellisseina ehitamine võttis aega $1,4h/m^2$, samal ajal kui kõige soojema puitkarkass-seina ehitamine võttis aega $2,4h/m^2$. [3]

Puitkarkass-sein koosnes üldiselt 700-800 (mm) sammuga 50 x 100 (mm) või 50 x 150 (mm) ristlõikega puitprussidest. Soojustuskihi paksuseks välisseintes oli 150-200mm. Kõige enam kasutati soojustamisel saepuru ja termoliiti, kuna see materjal oli omanikule tihtilugu tasuta või väga soodsalt saadaval. Välisviimistlusena kasutati sageli järgnevaid materjale: TEP- või roliitplaate, voodrilauda, silikaatvoodrit, krohvitud välisseinu. [5]

Levinumad puitkarkasselamute välisseina lõiked on toodud joonisel 2 ning tabel 1 kirjeldab antud seinte omadusi. Kõige enam oli puitkarkass-seintest kasutusel termoliit täidisega seinu, kus TEP-plaat-, tellis- või laudisväliskiit asub kohe vastu täidist (Joonis 2 seina ruumilised läbilõiked 1-6). Selliste seinte ehitamine oli kõige soodsam ja vajas kõige vähem materjali. Ehitati ka puitkarkass-seinu, kus oli lisaks täidist hoidev diagonaallaudis, millele oli peale löödud TEP-plaatidest, laudadest või tellistest lisavooder (joonis 2 seina ruumilised läbilõiked 7-9). [4]

Tabel 1. Nõukogude Eestis levinumate puitkarkass-seinte kirjeldus ja soojusjuhtivus [4]

Tähistus joonisel 2	Konstruksiooni kirjeldus	Seina soojusjuhtivus K (kcal/m ² h°C)	Teisendatud seina arvestuslik soojusläbivus U [W/(m ² K)]	Ajakulu 1m ² seina ehitamiseks tundides
1	TEP-plaat väliskihi ja 175mm termoliit täidisega puitkarkass sein	0,37	0,43	2,3
2	Vertikaalse välisvoodrilaua ja 200mm termoliit täidisega puitkarkass sein	0,38	0,44	2,0
3	Servisilikaattellis voodri ja 200mm termoliit täidisega puitkarkass sein	0,39	0,45	2,5
4	TEP-plaat väliskihi ja 125mm termoliit täidisega puitkarkass sein	0,45	0,52	2,3
5	Vertikaalse välisvoodrilaua ja 150mm termoliit täidisega puitkarkass sein	0,46	0,53	2,0
6	120mm silikaattellis voodri ja 200mm termoliit täidisega puitkarkass sein	0,38	0,44	2,5
7	Täiendava TEP-plaatidest välisvoodri ning laudisvoodri ja 150mm termoliit täidisega puitkarkass sein	0,35	0,40	2,4
8	Täiendava vertikaalse välisvoodrilaua ning laudisvoodri ja 150mm termoliit täidisega puitkarkass sein	0,40	0,46	2,0
9	Täiendava servisilikaattellis voodri ning laudisvoodri ja 150mm termoliit täidisega puitkarkass sein	0,41	0,48	2,5



Joonis 2. Nõukogude Eestis levinumate puitkarkass-seinte ruumilised läbilõiked [4].

Puitkarkasselamu seinä soojuslähivus olenes ka karkassi vahel olevast soojusisolatsioonimaterjalist. Nõukogude Eestis peeti soojusisolatsioonimaterjaliks materjali, mille soojuserijuhtivus oli alla 0,25kcal/mh°C ehk ligikaudu 0,29W/mK [18]. Soojusisolatsioonimaterjalid on üldiselt poorse ehitusega materjalid, mis on kaitseks ruumide soojakadude või kuumenemise eest. Üldiselt, mida väiksem on materjali mahukaal, seda parem ehk väiksem on tema soojajuhtivus [5]. Tabel 2 annab ülevaate Nõukogude Eestis enim kasutusel olnud materjalide mahukaaludest ja soojuserijuhtivusest.

Tabel 2. Soojustusmaterjalid ja nende kirjeldused. [5]

Materjal	Materjali kirjeldus	Mahukaal [kg/m ³]	Soojuserijuhtivus λ [W/(mK)]
Kivivill	Mineraalvill, mis koosneb mineraalkiududest. Materjali valmistati tavaliselt lubjakivist või lubjakivisisaldusega rübust.	180-300	0,05-0,07
Klaasvill	Kivivilla eriliik, mida toodetakse klaasmassist. Omadustelt on ta valgust juhtiv ja keemilistele mõjudele vastupidav materjal	180-250	0,05-0,07
Saepuru	Saeveskites puidutöötlemisel tekkinud jääk, mida kasutati massiliselt eramute soojustamisel.	150-250	0,07
Termoliit	Saepuru segati pulberlubjaga vahekorras 1 osa pulberlubja, 1 osa kipsi ja 25 osa saepuru. Antud materjal on algsest saepurust vajumiskindlam ja tulepüsivam ehk ei anna põledes leeki	250-300	0,10
Turbapõhk	Turbapõhk on sõelutud sammalturvas, mida kasutati seinatäidisena	200-300	0,07
Saepuruplaat	Peenikiudplaate valmistati lõhestatud puidukiududest, mis saadi üldiselt saeveski jääkidest. Üksikud pikad ja terved kiud annavad antud plaadile tugevust, seega ei sobi saepuru antud plaadi tootmiseks. Soojapidavuselt on plaat 3 korda parem puidust.	150	0,05
TEP-plaat	Valmistamistati tsemendipiimaga segatud õhukestest ja peenetut puidulaastudest ehk puidunarmastest.	300-500	0,09-0,21
Roliit-plaat	Valmistati talvisel lõikusel saadud pilliroost, mis omakorda tšingitud traadiga kokku õmmeldi. Plaadi paksus oli keskmiselt 50 millimeetrit.	250	0,08

Tabelis 2 kirjeldatud Nõukogude Eesti populaarsetest ehitusmaterjalidest on tänapäeval soojusisolatsioonimaterjalidena kasutusel peamiselt ainult kivivill ja klaasvill. Soojusisolatsioonimaterjalidel peetakse olulisemaks omaduseks soojapidavust ehk arvuliselt väljendatuna soojuserijuhtivust [33]. Mida väiksem on materjali soojuserijuhtivus, seda väiksem on tarindi soojuslähivus.

1.2 Varasematest puidust elamute seisukorra uuringutest

Varasemalt on puidust elamute seisukorda hinnatud Üllar Alevi doktoritöös „Eesti puidust maaelamute renoveerimine ja energiatõhususe parandamine“ [2]. Lisaks on koostatud Tallinna Tehnikaülikooli poolt uuring „Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“ [1]. Mõlemad uuringud koosnevad nii palkelamutest kui ka puitkarkasselamutest, mis on ehitatud 19. ja 20. sajandil.

Varasemad uuringud näitavad, et puitelamute piirdetarindite ja kandekonstruksioonide tehniline seisukord on üldiselt rahuldav. Uuringutes selgub, et üle pooltes majades esinevad puidumädaniku kahjustused. Edasiste kahjustuste vältimiseks vajavad kattekonstruktsioonidest tihtilugu vahetust [1]:

- välisvooder;
- veelauad;
- vihmavee äravoolud;
- katusekatted.

Vundamentidel esinevad peamised puudused on vundamentide ebaühtlane vajumine, vundamendi pragunemine, liiga madalad soklid ja sokli ülemise serva sademete eest kaitsmata jätmine. [1]

Välispiiretel peamiselt esinevad puudused on välisseina ja sokli liitekohas. Neid põhjustab kas liiga madal sokkel või vundamendi ebaühtlane vajumine. Valdavalt puudub vundamentidel hüdroisolatsioon. Levinud probleemiks on puudulik sademevee ärajuhtimine fassaadilt, mida põhjustab peamiselt akendel olevad liiga lühikesed ääreplekid. Välisseinte soojustus on valdavalt ebapiisav. [1]

Katustel esinevad probleemid on tingitud lekkivast, puudulikult kinnitatud, ebapiisavalt tihendatud ja sambla ning lehtede eest hooldamata jäetud katusekattest. Levivaks probleemiks on veel katuse puudulik soojustus ning katuselt vihmavee ärajuhtimissüsteemi puudumine. [1, 2]

Tehnosüsteemist vajavad uuendamist hoone veevärk ja elekter. Hoonetes puudub ventilatsioonisüsteem ning õhuvahetus käib läbi lekkivate akende ja uste. Hoone lisasoojustamisel ja õhupidavamaks muutmisel tuleks ehitada välja ventilatsioonisüsteem. [2]

Varasemad uuringud on näidanud, et enamustes nõukogude ajal rajatud puitkarkasselamutes vajab sisekliima parandamist. Peamiseks probleemiks on talvine liiga madal sisetemperatuur. [2]

Termograafilised uuringud näitavad, et vanade puitelamute peamised külmasillad on [1]:

- aknad ja ukse;
- välisseina ja sokli liitekoht;
- välisseina ja ukse/akna liitekoht;
- välisseina ja vahelae liitekoht.

Õhupidavustesti tulemusena on leitud, et elamutel peamised õhulekkekohad on: aknad, ukse, välisseina ja lae ning välisseina ja põranda liitekohad [1, 26]. Uuringud leiavad, et õhulekked on oluliselt väiksemad, kui välispiirded olid seestpoolt krohvitud või kaetud kipsi või vineeriga [2].

1.3 Uuritavate elamute tutvustus ja ajalugu

Antud magistritöö käsitleb viite erinevat puitkarkasslamut. Kõik elamud asuvad Tartu linnas ning on ehitatud aastatel 1958-1988. Tabel 3 annab lühiülevaate kõigist viiest puitkarkasslamust. Joonisel 3 on kujutatud hoonete asukohad Eesti topograafilisel kaardilt.

Tabel 3. Magistritöös käsitlevatest puitkarkasslamute üldandmed

Elamu nr	1	2	3	4	5
Hoone esmane kasutus	1988. a	1960. a	1958. a	1960. a	1976. a
Eluruumide pindala	149,6 m ²	47,1 m ²	112,3 m ²	86,4 m ²	122,2 m ²
Eluruumide ruumala	377,2 m ³	123,9 m ³	303,3 m ³	220,1 m ³	325,0 m ³
Hoones elavate perekondade arv	1	1	1	2	1
Korruselisus	2	2	2	2	2
Sisekliima andmesalvesti anduri asukoht	magamistuba	elutuba	elutuba	elutuba	magamistuba
Vundament	lintvundament	lintvundament	lintvundament	lintvundament	lintvundament
Välisviimistlus	krohv	horisontaalne laudis	krohv	krohv	terrasiitkrohv
Katusekate	plekk	katusekivi	plekk	plekk	plekk
Soojustus	termoliit	termoliit	termoliit	termoliit	linaluu



Joonis 3. Uuritavate hoonete asukohad Eesti Maa-ameti kaardilt [12].

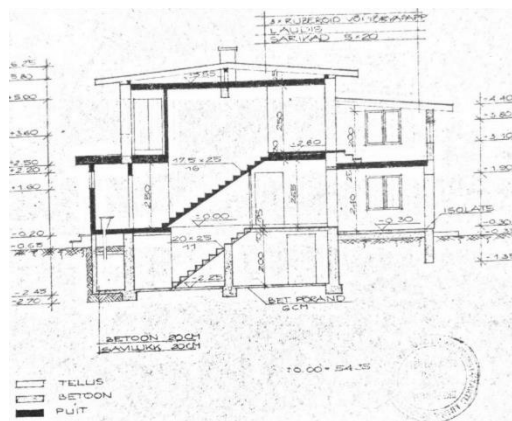
1.3.1 Uuritav puitkarkasselamu nr. 1

Hoone nr. 1 on konstruktsioonilt osaliselt puitkarkass- ja osaliselt tellishoone. Tellistest on ehitatud elamu küljes asuv garaaž ning garaaži kohal olev tuba. Elamu sai kasutusloa 1988. aastal ning hetkel elab selles 5-liikmeline perekond. Hoonel on kaks maapealset korrust ja kelder. Kõetavat eluruumide pindala on 149,6 m², lisaks eluruumidele on elamus tehniline kelder, garaaž ja saun. Elamul on monoliitne betoonist lintvundament, kuhu peale toetuvad puitkarkass-seinad, mis on soojustatud 200mm paksuselt termoliidiga ning väljast krohvitud. Jooksvate remonttööde käigus on elamul asendatud algne kolmekordsest ruberoidist katus plekk-katusega, lisaks on fassaadil tehtud kohtparandusi ning aknad vahetatud kahekordsete plastpakett akende vastu. Seest on uuendust saanud kogu tugev- ja nõrkvoolu juhtmestik. Siseviimistluse osas on renoveeritud terve elamu teine korrus, esimesel korrusel on viimistlus kohati amortiseerunud. Elamus on loomulik ventilatsioon ning lisaks on vannitoas ja WC-s ventilaatorid. Kütmine toimub kahetorulise radiaatorküttesüsteemi abil, mida soojendab keldris asuv söekatel. Hoone omanik peab ise peamisteks probleemideks halba õhupidavust, müra levimist ruumide vahel ja kohati amortiseerunud siseviimistlust. Lähitulevikus plaanib omanik asendada söekatla õhk-vesi soojuspumbaga ning teha remonti esimesel korrusel siseviimistluse osas terve korruse ulatuses. Joonisel 4 oleval fotol on kujutatud hoone nr. 1 vaade lõunast ja lõige.

a)



b)



Joonis 4. Uuritav puitkarkasselamu nr. 1: a) vaade lõunast; b) hoone lõige [6].

1.3.2 Uuritav puitkarkasselamu nr. 2

Hoone nr. 2 on ehitatud 1960. aastal. Elamul on kaks maapealset korrust ja ning tehniline kelder. Kõetavat elamispinda on 47,1m², mis asub kõik esimesel korrusel, lisaks kõetavale pinnale on elamus gaasikatla ja tehniline kelder, kuur ja mitte kõetav teine korrus. Uurimismomendil ei elatud elamus sees ning 2019. aasta suvel planeeritakse alustada suuremaid ümberehitustöid, mille käigus ehitatakse elamut suuremaks ning vahetatakse täielikult välja kogu olemasolev fassaad ja katus. Lisaks saavad toad täieliku remondi. Uurimuse läbiviimisel ei elatud elamus sees, aga kuna kütmine käib gaasikatla ja radiaatorite abil, siis oli kogu uurimisperioodil tubades soe ning sai teostada nii sisekliima mõõtmisi kui ka termograafilisi uuringuid.

Hoone nr. 2 on konstruktsioonilt kahekorruline puitkarkasselamu. Vundament on monoliitsest betoonist lintvundament. Välisseinad on kaetud horisontaalse laudisega ning soojustusena on kasutatud 200mm paksuselt termoliiti. Katusekate on katusekivist. Elamus on loomulik ventilatsioon. Kõik aknad on ühekordse klaasiga topelt puitraamiga aknad. Remonttöid pole hoones viimasel 10 aastal teostatud ning lisaks viimistlusele on amortiseerunud ka kogu elektrisüsteem koos juhtmestikuga ning keldris asuv gaasikatel. Joonisel 5 olevatel fotodel on kujutatud elamu vaated hoovist.

a)



b)



Joonis 5. Uuritav puitkarkasselamu nr. 2: a) vaade edelast; b) vaade kagust.

1.3.3 Uuritav puitkarkasselamu nr. 3

Hoone nr. 3 on ehitatud 1958. aastal. Elamul on 2 maapealset korrust ja kelder. Kõetavat elamispinda on 112,3m². Elamus elab 2-liikmeline perekond.

Konstruksioonilt on tegemist puitkarkasselamuga, kus välispiirded on soojustatud 200mm paksuse termoliidiga. Vundament on monoliitne betoonist lintvundament. 2001. aastal vahetati hoonel katus kiviprofiiliga plekk-katuse vastu. Elamu on heas korras ning selles on pidevalt teostatud väiksemaid remonttöid. Aknad on vahetatud 15 aastat tagasi 3-kordsete klaaspakett akende vastu, millest kõik aknad on ka avatavad. Elamus on loomulik ventilatsioon ning lisaks on WC-s ja duširuumis väljatõmbe ventilaatorid. Kütmiseks kasutatakse kahte puukütet toimivat ahju ja pliiti ning täiendava küttesüsteemina on kasutusel tubades elektriradiaatorid ning WC-s ja vannitoas elektripõrandakütted.

Hoone omanik peab elamu tehnilist seisukorda väga heaks ja ainsa puudusena leiab, et elamus on kõikuv temperatuur. Lähitulevikus ühtegi suuremat remonttööd ei plaanerita. Joonisel 6 kujutatud fotol on hoone vaade tänavalt ja hoovist.

a)



b)



Joonis 6. Uuritav puitkarkasselamu nr. 3: a) vaade tänavalt; b) vaade hoovist.

1.3.4 Uuritav puitkarkasselamu nr. 4

Hoone nr. 4 kahekorruseline ja on ehitatud 1960. aastal. See on kahe pere omandis olev puitkarkasselamu, kus kummalgi korrusel elavad erinevad perekonnad. Antud uurimuses osalevad ainult esimesel korrusel elava perekonna eluruumid, kus on kätavat elamispinda 86,4m², seega kogu hoone hinnang põhineb esimesel korrusel olevate ruumidega ning teist korrust arvestatakse vaid visuaalsel välisel tehnilise seisukorra hindamisel.

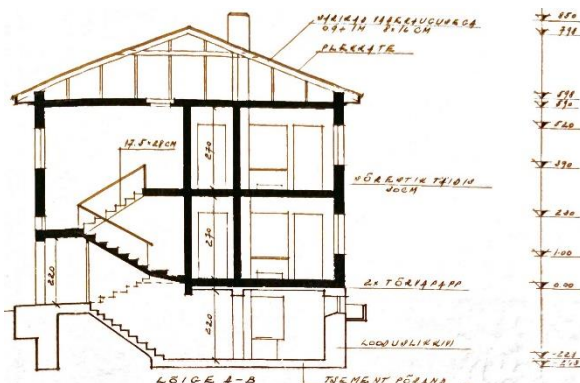
Ehituslikult on elamu väga sarnane naabermaja hoone nr. 3-ga. Hoonet kannab paekivist lintvundament, seinad on soojustatud 200mm paksuselt termoliidiga. Välisseinu katavad krohvitud roliit-plaadid. Elamul on plekk-katus. Aknad on topelt puitraamidega ja ühekordsete klaasidega. Viimase 10 aasta jooksul on remonti tehtud köögis ja vannitoas. Elamus on loomulik ventilatsioon. Kütmine toimub puuküttega ahju ja pliidi abil, lisaks on abiküttesüsteemina kasutusel elektriradiaatorid.

Hoone omanik on üldiselt elamu tehnilise seisukorraga rahul, miinuseks toob kõikuva sisetemperatuuri ning kohati amortiseerunud sise- ning välisviimistlused. Lähitulevikus ühtegi suuremat remonttööd ei planeerita. Joonisel 7 olevatel fotodel on kujutatud elamu vaade tänavalt ning ehitusprojekti järgne hoone lõige.

a)



b)



Joonis 7. Uuritav puitkarkasselamu nr. 4: a) vaade tänavalt; b) hoone lõige [6].

1.3.5 Uuritav puitkarkasslamu nr. 5

Hoone nr. 5 on 1976. aastal ehitatud puitkarkasslamu, milles elab kaheliikmeline perekond. Elamul on 2 maapealset korrust ja kelder. Kõetavate eluruumide pindala on 122,2m².

Välisseinte soojustamisel on kasutatud 180mm paksuselt linaluud ning väljast on hoone viimistletud terrasiitkrohviga. Elamul on monoliitne betoonist lintvundament. Esialgne katusekate on välja vahetatud 2007. aastal eterniidi vastu. Lisaks on remonttööde käigus väljavahetatud hoone küttesüsteem, aknad ja elektrijuhtmestik. Elamut kütab gaasikatel, mis annab soojust edasi radiaatorite abil. Lisaks on abiküttena kasutusel puiduküttega pliit ja kamin. Elamul on loomulik ventilatsioonisüsteem, millele lisaks on WC-s ja vannitoas ventilaator ning köögis kubu. Aknad on vahetatud kahe puitraamiga akende vastu, millest üks on klaaspakett ehk kokku on 3 klaasi.

Hoone omanik on üldiselt selle tehnilise seisukorraga rahul ning ühtegi suuremat miinust ei oska välja tuua. Lähitulevikus ühtegi suuremat remonttööd ei planeerita. Joonisel 8 oleval fotol on kujutatud hoone nr. 5 vaade hoovist ja tänavalt.

a)



b)



Joonis 8. Uuritav puitkarkasslamu nr. 5: a) vaade tänavalt; b) vaade hoovist.

2. ELAMUTE EHITUSTEHNILISE SEISUKORRA HINDAMINE EHITUSFÜÜSIKALISTE MÕÕTMISTE TEEL

2.1 Ehitise tehnilise seisukorra hindamine visuaalsel teel

Ehitise tehnilise seisukorra hindamine viiakse läbi visuaalsel teel mitte purustava meetodiga. Hinnatakse hoone tähtsamaid konstruktsioone ja eriosasid. Toetudes tehnilise seisukorra hinnangule arvutatakse hoonete füüsilise kulumise määr kasutades AS „Kommunaalprojekt-i“ poolt koostatud ja Eesti Riikliku Elamuameti poolt kinnitatud hoonete füüsilise kulumise määramise tabeleid. Puitkarkasselamute jaoks modifitseeritud füüsilise kulumise koondtabeli blankett koos konstruktiivelementide maksumuse osatähtsusega protsentides on näitena toodud tabelis 4. Antud tabelite abil saab hinnata hoonete füüsilist kulumist põhikonstruktsioonide, viimistluse ja tehnovõrkude tehnilise seisukorra alusel. Tabelid on mõeldud kasutamiseks elamute ja ühiskondlike hoonete üldehituslike konstruktsioonide ja eriosade füüsilise kulumise hindamiseks. [22]

Tabel 4. Hoone füüsilise kulumi määramine [22]

JRK. nr.	Hoone konstruktiiv- elementid (KE)	Konstruktiiv- elementide maksumuse osatähtsus [%], (m)	Konstruktiiv- elementide füüsiline kulumus [%], (f)	(m)x(f)	Kulumuse tunnused
1	vundamendid	9	leitakse tabelite abil	(m)x(f)	
2	välisseinad	11	leitakse tabelite abil	(m)x(f)	
3	vaheseinad	9	leitakse tabelite abil	(m)x(f)	
4	vahelaed	9	leitakse tabelite abil	(m)x(f)	
5	Katuse-konstruktsioonid	6	leitakse tabelite abil	(m)x(f)	
6	katusekate	6	leitakse tabelite abil	(m)x(f)	
7	põrandad	10	leitakse tabelite abil	(m)x(f)	
8	aknad	6	leitakse tabelite abil	(m)x(f)	
9	uksed	6	leitakse tabelite abil	(m)x(f)	
10	viimistlus	11	leitakse tabelite abil	(m)x(f)	
11	küte	7	leitakse tabelite abil	(m)x(f)	
12	Vesivarustus ja kanalisatsioon	5	leitakse tabelite abil	(m)x(f)	
13	elekter	6	leitakse tabelite abil	(m)x(f)	
	KOKKU	100%			
	Hoone füüsiline kulum F_k (%)				

Hoone füüsiline kulum leitakse kasutades tabelis olevaid väärtusi ning kasutades valemit [22]:

$$F_k = \sum_{1-13} (m) x(f) / 100 \quad (2.1)$$

kus: F_k - hoone füüsiline kulum, [%];

m - konstruktiivelementide maksumuse osatähtsus, [%];

f - konstruktiivelementide füüsiline kulumus, [%]

2.2 Hoonete elanike rahuloluküsitlus

Hoonete elanike rahuloluküsitlus viidi läbi ankeedi alusel, mida on varasemalt kasutatud erinevates Eesti eluasemefondi ehitustehnilise seisukorra uuringutes ning mis antud uuringu jaoks modifitseeriti puitkarkassellamute hindamiseks [1].

Ankeetküsitlus koosneb valikvastustega küsimustest ning ühest seitsmeni hindamisskaalaga küsimustest, andes ülevaate:

- hoone elanike harjumustest;
- elanike rahulolust;
- hoones esinevatest probleemidest;
- hoone olemusest;
- hoone tehnilisest seisukorrast;
- hoone tehnosüsteemidest.

Saadud tulemuste võrdlemine on osaliselt üsna subjektiivne, kuna inimesed hindavad oma kodudes esinevaid probleeme erineva rangusega.

2.3 Termografeerimine ja külmasillad

Kõigis elamutes viiakse läbi elamu sisene termografeerimine, mille abil tuvastatakse hoones olevad külmasillad. Antud uurimuses viiakse termografeerimine läbi ainult hoone siseselt, kuna seest poolt termografeerimisega on võimalik paremini tuvastada külmasildade kriitilisust. Termografeerimist viiakse läbi kahes osas. Kõigepealt mõõdetakse hoone

välispiirdeid tavaolukorras ehk passiivses olukorras ning seejärel tekitatakse hoones *BlowerDoori* abil 50 Pa suurune alarõhk ning teostatakse uued mõõtmised peale 10 minutit antud rõhu hoidmisel aktiivses olukorras. Õhulekke kohtades on temperatuur madalam peale alarõhu tekitamist. [7]

Elamute termografeerimisel tuginetakse standardile EVS-EN 13187:2001 ning mõõtmisi viiakse läbi termokaameratega Flir b50 ja Flir i7 [8]. Mõlema kaamera tehnilised andmed on toodud tabelis 5.

Tabel 5. Mõõtmisel kasutatud termokaamerate tehnilised andmed [9, 10]

Termokaamera	Flir b50	Flir i7
		
Mõõtevahemik	-20 °C kuni +120 °C	-20 °C kuni +250 °C
Mõõtetäpsus	±2%	±2%
Termotundlikkus +25°C juures	≤0,09 °C	≤0,15 °C
Sensor	140 x 140 pikslit	140 x140 pikslit

Külmasillad on piirdetarindis kohad, kus soojusjuhtivus on suurem ümbritseva tarindi soojusjuhtivusest. Külmasillad tekivad nii tarindi geomeetrilistesse kohtadesse, milleks on näiteks põranda ja välisseina, välisseina ja lae, välisseina ja avatäidete liitekohad ning tarindi välispiirete nurk. Lisaks võivad külmasillad olla põhjustatud ehituskonstruktiiivsetest lahendustest nagu näiteks soojustusest läbiviigud ja tarindite liitekohad. [1]

Külmasildade arvestamine on oluline mitmel põhjusel [1]:

- külmasildades esinevast temperatuuridest tulenev kõrgem suhteline niiskus võib põhjustada tarindites mikroorganismide kasvu. Toatemperatuuril soodustab hallituse kasvu suhteline õhuniiskus 75% juures.

- külmasillad vähendavad hoones soojusliku mugavust ja suurendavad hoone energiakulu.

Külmasildade kriitilisust arvutatakse sisepinna temperatuuri, välistemperatuuri ja sisetemperatuuride omavahelise suhte ehk temperatuuriindeksi f_{Rsi} abil. [11]

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \quad (2.2)$$

kus: f_{Rsi} - temperatuuriindeks, [-];
 t_{si} - sisepinnatemperatuur, [°C];
 t_i - siseõhu temperatuur, [°C];
 t_e - välisõhu temperatuur, [°C];
 R_T - piirdetarindi kogusoojustakistus, [m²·K/W];
 R_{si} - piirdetarindi sisepinna soojustakistus, [m²·K/W].

Tabelis 6 on välja toodud Eestis niiskustehniliselt temperatuuriindeksi piirväärtused veeauru kondenseerumise ja hallituse kasvu vältimiseks [13].

Tabel 6. Eestis niiskustehniliselt turvalised temperatuuriindeksi piirväärtused [13]

Niiskuscoormus		Temperatuuriindeks f_{Rsi} (väärtus peab olema piirväärtusest suurem)	
		Hallituse vältimine	Veeauru kondenseerumise vältimine
Niiskuselisa talvel + 6 g/m ³ suvel + 2,5 g/m ³	Suure asustusega ja halva ventilatsiooniga elamud	0,8	0,7
Niiskuselisa talvel + 4 g/m ³ suvel + 1,5 g/m ³	väikese asustustihedusega ja hea ventilatsiooniga elamud	0,65	0,55

Antud uurimuses võeti aluseks väärtused, mis vastavad suure asustusega ja halva ventilatsiooniga elamutele, kuna hoonetes oli loomulik ventilatsioon.


2.4 Siseõhu temperatuur ja suhteline õhuniiskus

Sisekliima mõõtmisi viiakse läbi Hobo U12-011 andmesalvestajaga. Sellega mõõdetakse kõigis elamutes siseõhu temperatuuri (T) ja suhtelist õhuniiskust (RH). Tabelis 7 on välja toodud andmesalvestite asukohad elamutes ja tabelis 8 on toodud seadme tehnilised andmed.

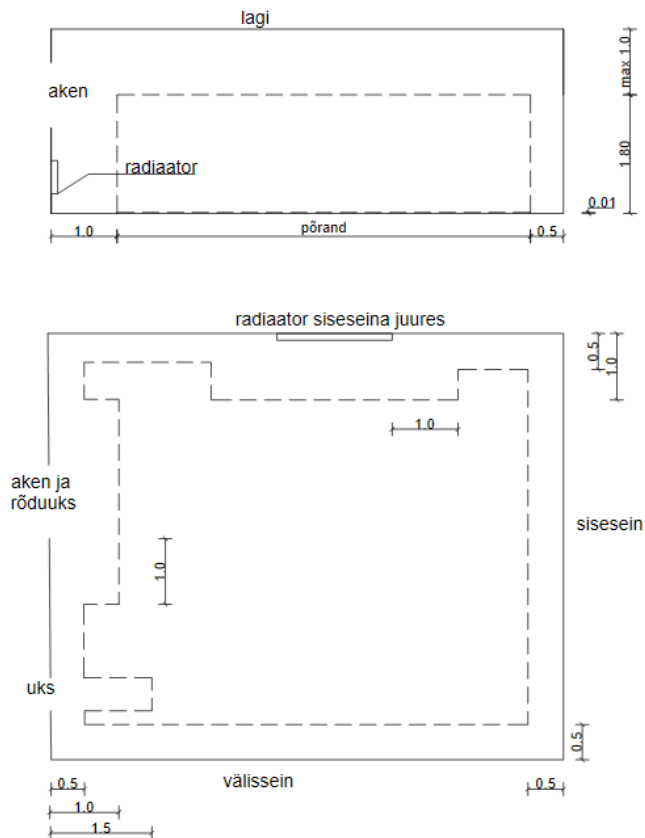
Tabel 7. Hobo U12-011 asukohad uuritavates hoonetes

Elamu nr.	Elamu 1	Elamu 2	Elamu 3	Elamu 4	Elamu 5
Andmesalvesti asukoht	magamistuba	elutuba	elutuba	elutuba	magamistuba

Tabel 8. Hobo U-12 011 tehnilised andmed [15]

	Mõõtevahemik		Mõõtetäpsus	
	Temperatuur (T)	Suhteline niiskus (RH)	Temperatuur (T)	Suhteline niiskus (RH)
	-20°C kuni +70°C	5% kuni 95%	±0,35°C mõõtevahemikus 0°C -50°C	±2,5°C mõõtevahemikus 10%-90%

Kõigisse elamutesse paigaldatakse 1 andur, kas magamistuppa või elutuppa ehk ruumi, kus inimene peamiselt viibib. Anduri asukohta valitakse vastavalt standardis EVS 839:2003 väljatoodud kontrolltsoonile, milleks on ala ruumis, kus peavad olema täidetud kõik sisekliima nõuded [16]. Joonisel 9 on kujutatud punktiirjoonega kontrolltsooni piirkond ruumis.



Joonis 9. Kontrolltsooni piirkond ruumis. [16]

Kontrolltsooni piirid ruumis on järgmistel kaugustel välispiiretest ja soojuskiirgavatest pindadest [16]:

- 1,0 m kaugusel välisseinas olevast aknast;
- 1,5 m kaugusel välisuksest;
- 0,5 m kaugusel aknata välisseinast;
- 0,1-1,8 m kõrgusel põrandapinnast;
- 1,0 m kaugusel seinäärsest radiaatorist;
- 1,0 m kaugusel küttega laest.

Antud magistritöös paigaldati kõik andurid 1,5m kõrgusele põrandast ning jälgiti kõiki kontrolltsooni nõudeid. Jälgiti, et andur oleks eemal otsestest soojusallikast nagu radiaatorid ja valgustid ning kohas kuhu ei paistaks peale otsene päikesekiirgus. Mõõtmistulemusi salvestati 30 minutiliste intervallidega 2 kuu vältel. Arvutuste jaoks vajalik välisõhu temperatuur ja õhuniiskus saadi Tartu linna paigaldatud väliandurilt.

Kuna õhu suhteline niiskus sõltub temperatuurist, siis selle põhjal ei saa hinnata ruumide niiskust. Siseruumide niiskust väljendab niiskuslisa, mis on siseõhu- ja välisõhu veeaurusisalduse vahe ja on leitav valemiga (2.3) [11].

$$\Delta \nu = \nu_i - \nu_e \quad (2.3)$$

Kus: $\Delta \nu$ - niiskuslisa, [g/m³];
 ν_i - siseõhu veeaurusisaldus, [g/m³];
 ν_e - välisõhu veeaurusisaldus, [g/m³];

Saadud välisõhu temperatuuride põhjal arvutatakse veeauru küllastusrõhk, mis leitakse tulenevalt temperatuurist valemiga 2.4 või 2.5 [11]:

$$\rho_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot t}{265,5+t}}, \text{ kui } t \geq 0^\circ\text{C}; \quad (2.4)$$

$$\rho_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot t}{265,5+t}}, \text{ kui } t < 0^\circ\text{C} \quad (2.5)$$

kus: ρ_{sat} - veeauru küllastusrõhk, [Pa];
 t - õhu temperatuur, [°C].

Õhus veeauru küllastussisalduse arvutamiseks kasutatakse valemit 2.6 [11]:

$$\nu_{sat} = \frac{M_w \cdot \rho_{sat}}{R \cdot T} \quad (2.6)$$

kus: ν_{sat} - veeauru küllastussisaldus õhus, [kg/m³];
 M_w - vee molaarmass: 18,015 kg/kmol;
 R - universaalne gaasikonstant 8314,41 J/(kmol·K);
 T - õhu temperatuur, [K].

Sise- ja välisõhu veeauru sisaldus leitakse kasutades andmeluguritelt saadud sise- ning välisõhu suhtelisi õhuniiskuseid. Veeauru sisaldus leitakse kasutades valemit 2.7 [11]:

$$RH = \frac{\nu}{\nu_{sat}} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

kus: RH - suhteline õhuniiskus, [%];
 ν - veeaurusisaldus õhus, [g/m³];
 ν_{sat} - veeauru küllastussisaldus õhus, [g/m³].

Saadud tulemusi võrreldakse standardis EVS-EN 15251:2007 ja EVS 839:2003 toodud sisekliima klassidega. Nende standardite põhjal kombineerituna annab tabel 9 ülevaate sisekliima klasside kirjeldustest ning väärtustest [16, 27].

Tabel 9. Sisekliima klassid [16, 27]

Sisekliima klass	Kirjeldus	Temperatuur, [°C]	Suhteline õhuniiskus
I	Kõrged nõudmised sisekliima kvaliteedile. Soovitatavad ruumides, kus viibivad väga tundlikud, nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, näiteks puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed.	21°C - 23°C	30% - 50%
II	Tavapärased nõudmised sisekliima kvaliteedile. Tuleks rakendada uutes ja renoveeritavates hoonetes.	20°C - 24°C	25% - 60%
III	Mõõdukad nõudmised sisekliima kvaliteedile. Võib rakendada olemasolevates hoonetes.	19°C - 25°C	20% - 70%
IV	Sisekliima kvaliteedi väärtused, mis jäävad väljapoole eelmainitud klasse. Antud klass võib olla vastuvõetav ainult piiratud ajal aastast.	vähem kui 19°C või suurem kui 23°C	vähem kui 20% või suurem kui 70%

2.5 Hoonepiirete õhupidavus

Hoonepiirete ebapiisav õhutihedus väljendub planeerimatus õhuvoolus läbi pragude ja hoonepiirete. Piirete õhupidavus mõjutab elamu kütte- ja jahutuskulusid. Näiteks tavapärase elamu energiakulu võibolla 10-30% suurem, kui väga hea õhupidavusega hoonel. Suurte õhuleketega hoonetel võib lekkekohtade kaudu olev õhuvahetus olla isegi suurem või samas suurusjärgus, kui ventilatsiooniseadme poolt vahetatav õhuhulk. Hoonepiirete halb õhupidavus toob esile järgmisi probleeme [23]:

- hoonete halb energiatõhusus;
- liiga suured müraprobleemid;
- tuuletõmbus ja halb sisekliima kvaliteet;
- väljast lõhnade levik hoone sisse;
- niiskustehnilised probleemid;

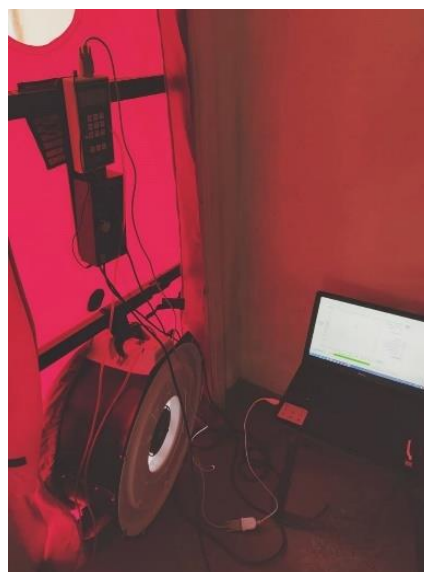
- hallituse levik siseruumidesse;
- hoone tuleohutus.

Hoonepiirete õhupidavus viiakse läbi tuginedes standardile EVS-EN ISO 9972:2015 [24]. Katse läbiviimiseks paigaldatakse hoone välisukseavasse ventilaator mõõteseade *Blowerdoor* (joonis 10). See koosneb reguleeritavast raamist, ventilaatorist, õhutihedast kangast ning mõõte- ja juhtimispuldist, mis on juhtme abil ühendatud arvutiga.

a)

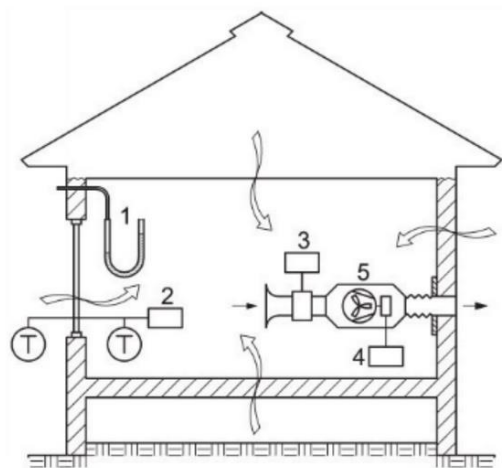


b)



Joonis 10. Hoonepiirete õhupidavuse mõõteseade *BlowerDoor*. a) elamus ülerõhu tekitamine; b) elamus alarõhu tekitamine.

Hoone piirete õhupidavuse mõõtmisel tuleb esmalt välispiiretes sulgeda kõik avatäited (uksed, aknad) ning kinni teipida värskeõhuklapid ja kogu hoone ventilatsioon. Tulekollete siibrid suletakse ja veendutakse, et valamute ja trappide vesilukud oleksid täidetud. Seejärel pannakse *BlowerDoor* üles välisukse lengi vahele. Hoone õhupidavuse mõõtmine toimub ainult eluruumides, seega on oluline, et tubadevahelised uksed oleksid avatud olekus ning sooja eluruumi ja külma mitteeluruumivahelised uksed oleksid suletud. Joonisel 11 on kujutatud skeem hoonepiirete õhupidavuse mõõtepõhimõttest. [23, 25]



- 1 – õhurõhu erinevuse mõõteseade
- 2 – temperatuuri mõõteseade
- 3 – õhuvoolu hulga mõõtesüsteem
- 4 – ventilaatori regulaator
- 5 – ventilaator

Joonis 11. Hoone õhupidavuse mõõtmine [24]

Lekkeõhu hulka mõõdetakse nii alarõhu kui ka ülerõhu juures erinevatel õhurõhkudel. Antud töös viidi katsed läbi $0... \pm 60 \text{ Pa}$ juures ning 10 Pa sammuga. Enne ja pärast ventilaatoriga rõhuerinevuse tekitamist mõõdetakse sise- ja väliskeskkonnavaheline õhurõhkude erinevus ning mõlema keskkonna temperatuurid – nende abil saab mõõtetulemust parandada. [23]

3 TULEMUSED

3.1 Hoone füüsilise kulumise määramine ning tehnilise seisukorra hinnang visuaalsel teel

Uuritavate puitkarkasselamute tehnilist seisukorda hinnatakse vaid visuaalsel teel mitte purustava meetodiga. Sellest tulenevalt on saadud tulemused subjektiivsed ning hoonetel võib esineda konstruktsioonilisi kahjustusi, mida polnud võimalik määrata visuaalsel teel.

Kõik uuritavad hooned toetuvad lintvundamentidele, neljal hoonel on see valmistatud betoonist ning ühel paekivist. Üldiselt on vundamentide seisukorrad rahuldavad, väljast esineb soklilt krohvi lagunemist, mis on peamiselt seotud soklit kaitsva veelaua puudumisest. Lisaks esineb mingil määral pragusid, mis on tingitud vundamendi ebahühtlasest vajumisest. Teadaolevalt pole ühegi uuritava hoone vundamentidele hüdroisolatsiooni paigaldatud ning valdavalt puudub keldrites töötav ventilatsioon, millest tingituna on keldrid üldiselt liigniisked ning seal esineb hallitust. Joonis 12 annab visuaalse ülevaate keldrite ja vundamentide seisukorrast.



Joonis 12. Vundamentide seisukord: a) liiga lühike veelaud, mille tulemusena soklilt koorub krohvikihit; b) ebahühtlasest vajumisest on soklisse tekkinud mōrad; c) liigniiske kelder; d) puuduv veelaud põhjustab soklile vihmavee langemist.

Välisseinte tehnilise seisukorra hindamine põhineb vaid visuaalsel teel nähtavatel fassaadi vigastustel ja puudustel. Välisviimistlusena on antud hoonetel kasutatud järgnevaid

materjale: värvitud laudist, värvitud krohvi, krohvi ja terrasiitkrohvi. Viiest hoonest ainsana on hoonel nr. 5 terrasiitkrohvist välisfassaad hästi säilinud, ülejäänud hoonetel on näha välisviimistluse osas amortiseerumist. Peamisteks probleemideks on fassaadilt kooruv ning pragunev krohv ja värv, mis võib olla tekkinud niiskusest, vahelduvatest temperatuuridest, vundamendi vajumisest, liiga madalast soklist ja tänaval liiklusega ning teetöödega tekkivast vibratsioonist. Näiteks elamu nr. 1 välisfassaadile tekkis palju krohvipragusid 2018 aasta suvel toimunud teetööde ajal (Joonis 13). Fassaadilt krohvikihi lagunemist soodustab ka pragude tekkimisel parandamata jätmine, mille tulemusena pääseb pragude kaudu niiskus krohvikihi taha ning tekitab edasist krohvi lagunemist. Joonisel 13 on toodud mõned näited uuritud elamute välisseinte visuaalsest seisukorrast.

a)



b)



c)



d)



Joonis 13. Välisseinte visuaalne seisukord. a) Teetööde vibratsioonist tekkinud praod fassaadikrohvis; b) pilliroomatilt pragunev ja pudenev krohv; c) krohvilt kooruv värv; d) elamu nr. 5 hästi säilinud terrasiitkrohvist fassaad.

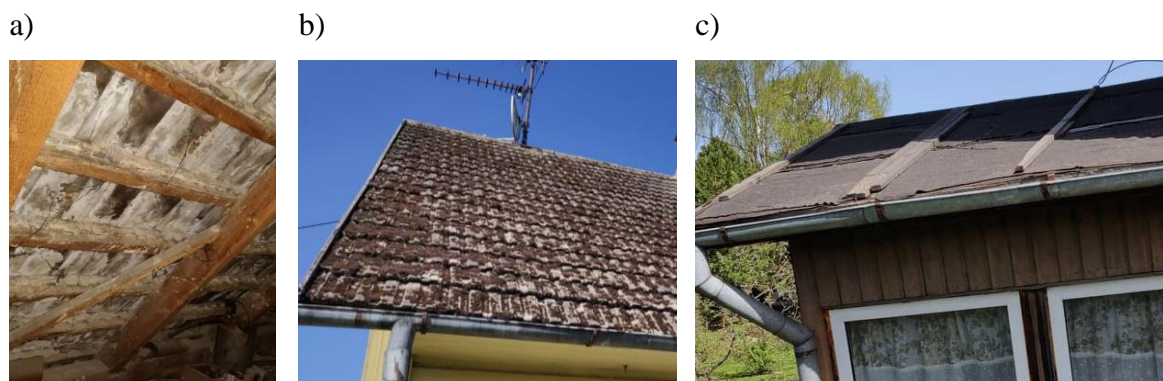
Vaheseinad on uuritud puitkarkasselamutes valdavalt ehitatud puitkarkassist, mis on täidetud soojustusega ning kaetud kas kipsi või laudisega ning seejärel viimistletud. Antud hoonetes vaheseinte kõrvalekallet vertikaalasendist ei tuvastatud küll aga viimistluse koha

pealt on hoonete vaheseinte olukord erinev olenevalt elamust - esines heas korras siseviimistlusega seinu ning oli ka vaheseinu, mis olid täielikult amortiseerunud ning vajaksid renoveerimiseks suuremaid viimistlustöid. Peamised pragude tekkekohad viimistluskihis olid naaberkonstruktsioonidega liitekohad.

Vahelagede visuaalsel hindamisel suuremaid probleeme ei esinenud. Krohvitud vahelagedes oli väikeseid pragusid ning krohvimata vahelagedes esines laudisevahelisi pilusid. Talade läbipainet oli minimaalselt, probleeme tekitavaid kohti ei tuvastatud. Visuaalsel vahelagede hindamisel oli peamise probleemina taaskord amortiseerunud viimistlus.

Uuritavates puitkarkasselamutes toimus visuaalne hindamine nii sise- kui ka välistreppide osas. Välistreppide peamisteks probleemideks oli väljast lagunev visuaalne välimus ning betootreppide puhul katkestamata külmasild. Sisetreppide peamiseks puuduseks oli liiga järsk tõus ning libe astmepind.

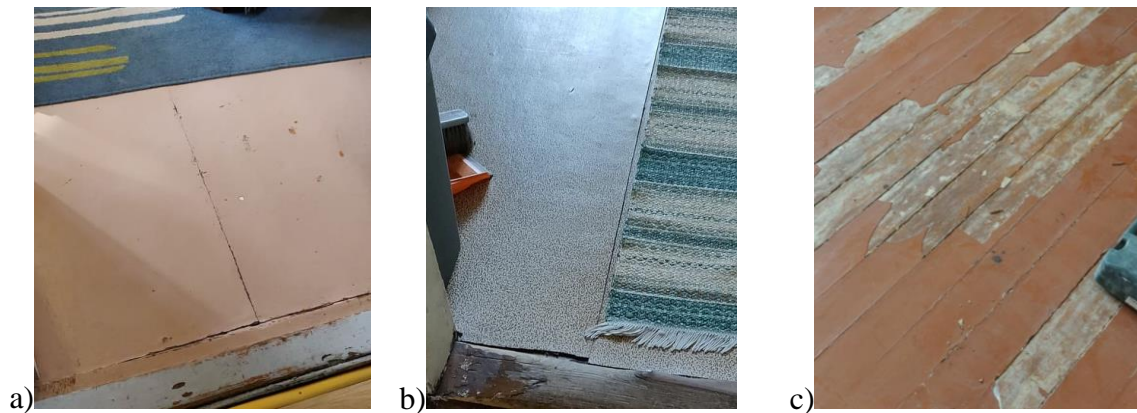
Katuste seisukord oli hooneti erinev. Kõige halvemas seisukorras oli elamu nr. 2 katusekate, kus olid sarikad vajunud ning sellest tulenevalt esines kivikatuses pragusid. Katusealune oli niiske ja esines hallitust, väljastpoolt oli katusekate paksu samblakihi all ehk hooldamata (joonis 14). Probleemne katus esines ka elamus nr. 1, kus verandast ehitatud toa katust katab halvas seisukorras bituumenkate (joonis 14). Ülejäänud hoonete katusekatetel suuremaid probleeme ei esinenud.



Joonis 14. Katusekatete seisukord. a) elamu nr. 2 katusekate, vaade pööningult; b) elamu nr. 2 sammaldunud katusekate; c) elamu nr. 1 juurde ehitatud toa bituumenist katusekate.

Põrandakatetel esines kulumisi. Elamu nr. 2 põrand vajab täies ulatuses ülesvõtmist ja taastamist või asendamist uue põrandalaudisega (joonis 15). Elamus nr. 1 on vaja välja vahetada amortiseerunud soomepapist ning linoleumist põrandad (joonis 15). Ülejäänud

elamutes olid põrandad suuremate või väiksemate kulumisjälgedega, kuid rahuldavas seisukorras.



Joonis 15. Põrandate seisukord. a) elamu nr. soomepapiga kaetud põrand; b) elamu nr. 1 linoleum kattega põrand; c) elamu nr. 2 laudispõrand.

Avatäited vajavad suures osas vahetust. Vaid ühel hoonel viiest on aknaid vahetatud viimase kümne aasta jooksul. Termografeerimisel tehtud pildid näitasid, et uuritavates hoonetes kõige kriitilisemad külmasillad ja õhulekked on just avatäidete ümber. Probleemiks on tihendite puudumine või amortiseerunud tihendid ning avatäidete ümber olevate vuukide mitte piisav tihendus. Lisaks esines elamutes topelt puitraamiga klaasaknaid ilma paketita, mis tänapäeva mõistes ei vasta ühelegi nõudele. Joonisel 16 on lisatud näited amortiseerunud avatäidetest.



Joonis 16. Avatäidete seisukord. a) elamu nr. 4 välisukse termografeerimine; b) elamu nr. 2 amortiseerunud välisuks; c) elamu nr. 2 topelt puitraamiga ilma paketita aknad.

Siseviimistluse osas vajavad kõik viis uurimises olnud hoonet värskendamist. Valdavalt oli elamutes siseviimistlus moraalselt vananenud. Elamud nr. 1 (vaid esimene korrus), 2 ja 4 vajavad täies mahus uut siseviimistlust ning elamutes nr. 3 ja 5 on vaja teha kohtparandusi. Probleemsed kohad on seintelt lahti olev krohvikihht, vigastused ning kulumised värvikihis ja määrdunud ning liimist lahti olevad tapeedid.

Veevarustuse ja kanalisatsiooni visuaalsel hindamisel fikseeriti umbes segistisõelu ning olukordi, kus segisti polnud valamu küljes piisavalt kõvasti kinni. Kuna torustikud jooksid seinte ja põrandate sees siis rohkem puudusi ei fikseeritud.

Viie uuritud hoonest toimus kolmes kütmine radiaatorite pealt, mida soojendas keldris olev katel ning kaks hoonet olid ahikütte pealt. Kõigis hoonetes peale elamu nr. 2 olid küttesüsteemid korras. Elamus nr. 2 töötab hetkel gaasikatel, kuid varasemalt seda hindamas käinud gaasieksperti hinnangul vajab katel väljavahetust. Elamu omanik alustab 2019. aasta suvel elamu täies mahus renoveerimistöödega, mille käigus olemasolev gaasikatel asendatakse õhk-vesi soojuspumbaga. Joonisel 17 on kujutatud elamu nr. 1 puusöekatel ja elamu nr. 2 amortiseerunud gaasikatel.

a)



b)



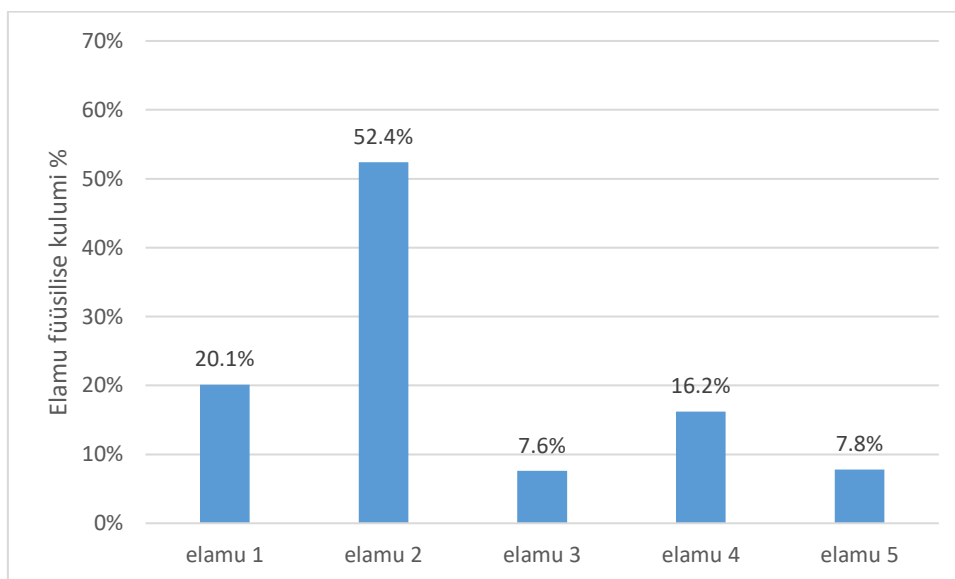
Joonis 17. Küttesüsteemide tehniline seisukord: a) elamu nr. 1 puusöekatel; b) elamu nr. 2 amortiseerunud gaasikatel.

Elektrijuhtmestik oli kõigis elamutes peale elamu nr. 2 kaasaegne. Elamus nr. 2 vahetatakse kogu juhtmestik planeeritavate renoveerimistööde käigus, momendil kujutab vana amortiseerunud elektrijuhtmestik (joonis 18) endast väga suurt tuleohtu.



Joonis 18. elamu nr. 2 amortiseerunud elektrijuhtmestik.

Tehnilise seisukorra visuaalse hindamise tulemusena määrati elamute füüsilise kulumise protsent, kasutades AS „Kommunaalprojekt-i“ poolt koostatud ja Eesti Riikliku Elamuameti poolt kinnitatud hoonete füüsilise kulumise määramise tabeleid [22]. Antud tabelites on modifitseeritud maksumuse osatähtsusi, et saada objektiivsemaid tulemusi. Elamute füüsilise kulumi arvutustabelid on toodud lisade all (lisa 1) ning joonisel 19 on kujutatud summeeritud hoonete konstruktiivelementide füüsilise kulumi protsendid.



Joonis 19. Elamute füüsiline kulum.

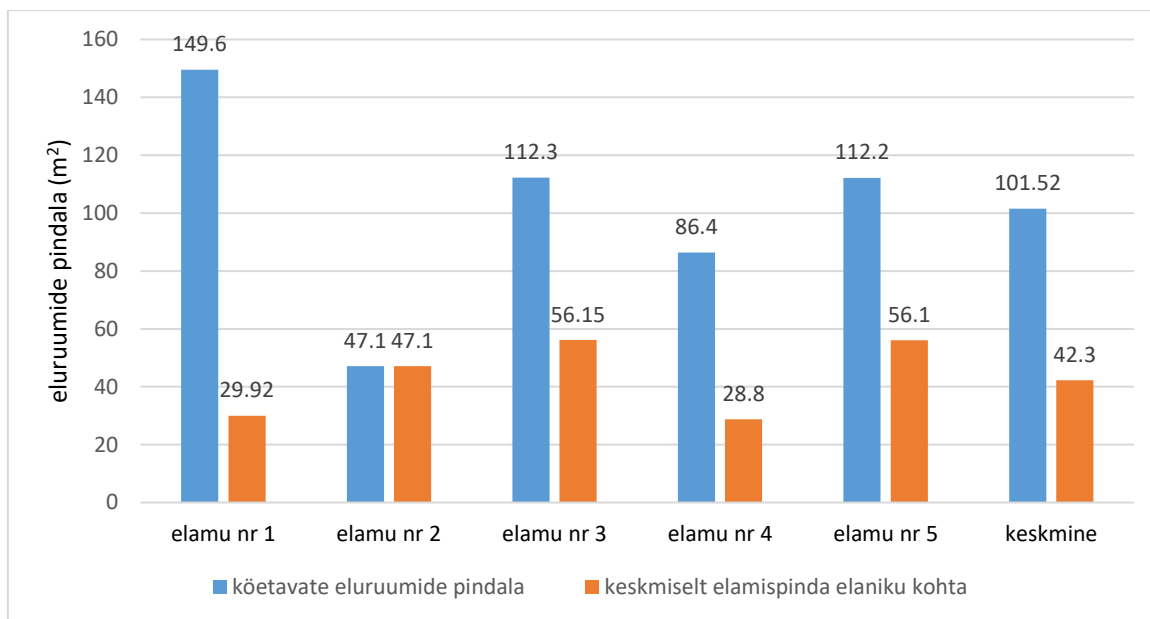
Uuritud puitkarkasselamutel fikseeriti kõige suuremad füüsilised kulumid seintel, põrandatel ja viimistluses. Üldjoontes olid heas seisus hoone veevarustus ja kanalisatsioon, hoone elekter ning katusekonstruktsioonid ja katusekatted. Füüsilise kulumi poolest kõige paremas seisus oli elamu nr. 3, kus kulumiks arvatati 7,6% ning kõige halvemas seisus oli elamu nr. 2, kus kulum oli 52,4%.

3.2 Hoone elanike rahulolu

Kõigis uuritavates hoonetes viidi läbi hoone elanike rahulolu küsitlus. Küsimustik koosnes valikvariantidega küsimustest ja hindamisskaalast, kus hoone omanik sai vastuse valida 1-7 skaalal.

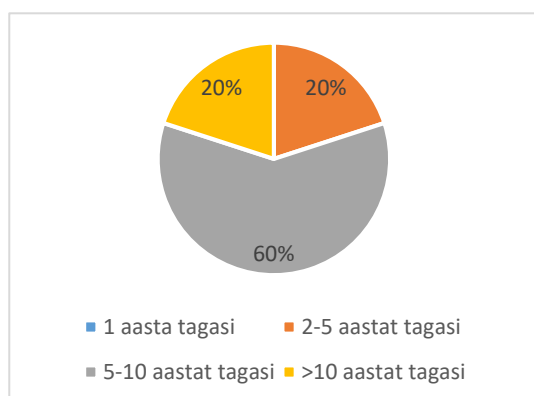
Kõik uuringus osalevad hooned on eraomandid, mille keskmine vanus ehitusaasta järgi on 52,2 aastat. Uuritavates hoonetes kõikus elanike arv 0 kuni 5 inimeseni, moodustades keskmiselt 2-3 inimest elamu kohta. Koduloomi esines kokku kolmes uuritud hoones, moodustades keskmiselt 0-1 kodulooma elamu kohta.

Keskmiselt on uuritud hoonetes köetavat elamispinda $101,52\text{m}^2$ ning elamispinda inimese kohta $42,3\text{m}^2$. Statistikaameti andmeil on asustatud tavaeluruumide keskmine pindala Tartu linnas elaniku kohta $28,4\text{m}^2$ [28]. Kui võrrelda antud uuringu tulemusi Statistikaameti keskmistega siis on keskmine elamispind elaniku kohta tunduvalt suurem, kuid uuringus mõjutab oluliselt tulemusi elamu nr. 2, kuna hetkel on selles elanike arv 0. Lisaks on Statistikaameti andmebaasi keskmises sisse arvestatud ka korterid, kuid antud uurimuses on kõik eramud. Hoonetest, kus momendil sees elati oli kõige enam elamispinda $56,15\text{m}^2$ elaniku kohta ning vähim $28,8\text{m}^2$. Antud tulemused on toodud välja joonisel 20.

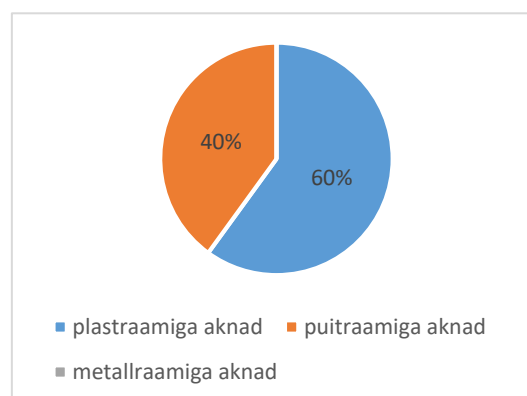


Joonis 20. Kõetavate eluruumide pindala ja keskmine elamispind elaniku kohta.

Suuremad niiskuskahjustused esinesid 20% uuritud hoonetest WC-s või vannitoas. Joonis 21 annab ülevaate viimase sanitaarremondi teostamisest: 60% valitud hoonetest on sanitaarremonti teostatud viimase 5-10 aasta jooksul, 20% hoonetest rohkem kui 10 aastat tagasi ja 20% hoonest 2-5 aastat tagasi. Vaid ühel viiest uuritud hoonest olid aknad vahetatud viimase 10 aasta jooksul. Jooniselt 22 saab lugeda, et aknaraamid olid materjalilt 60% puitraamiga ning 40% hoonetest plastraamiga. Kõigis akendega eluruumides oli vähemalt üks avatav aken värskelt õhu ruumi laskmiseks. Ventilatsiooni puudumisel on avatav aken väga oluline.



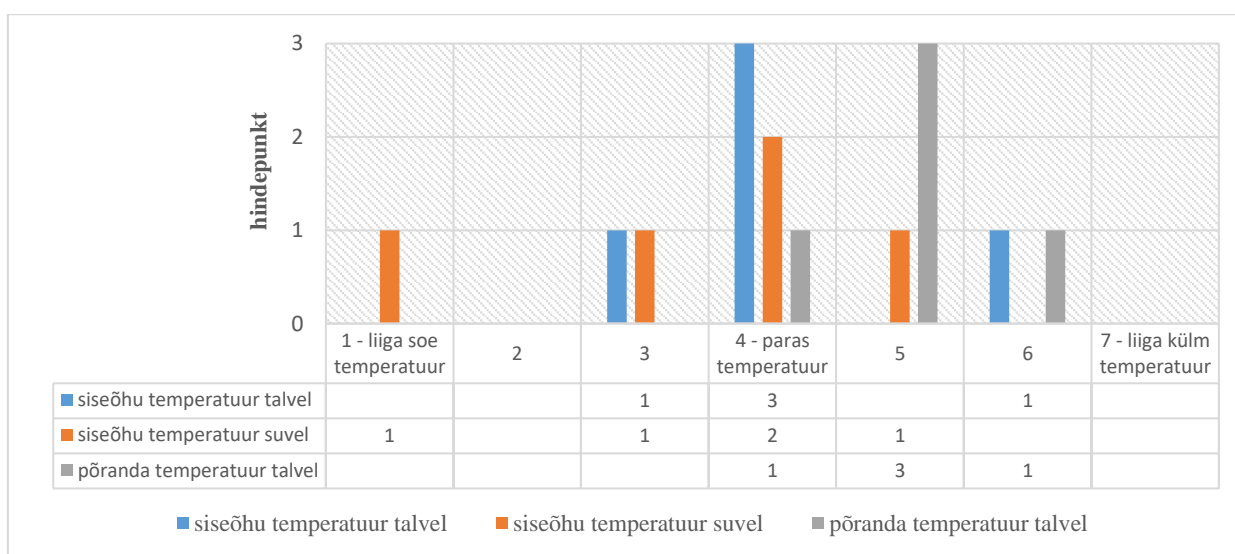
Joonis 21. Viimane sanitaarremont uuritud hoonetes.



Joonis 22. Aknaraami materjal.

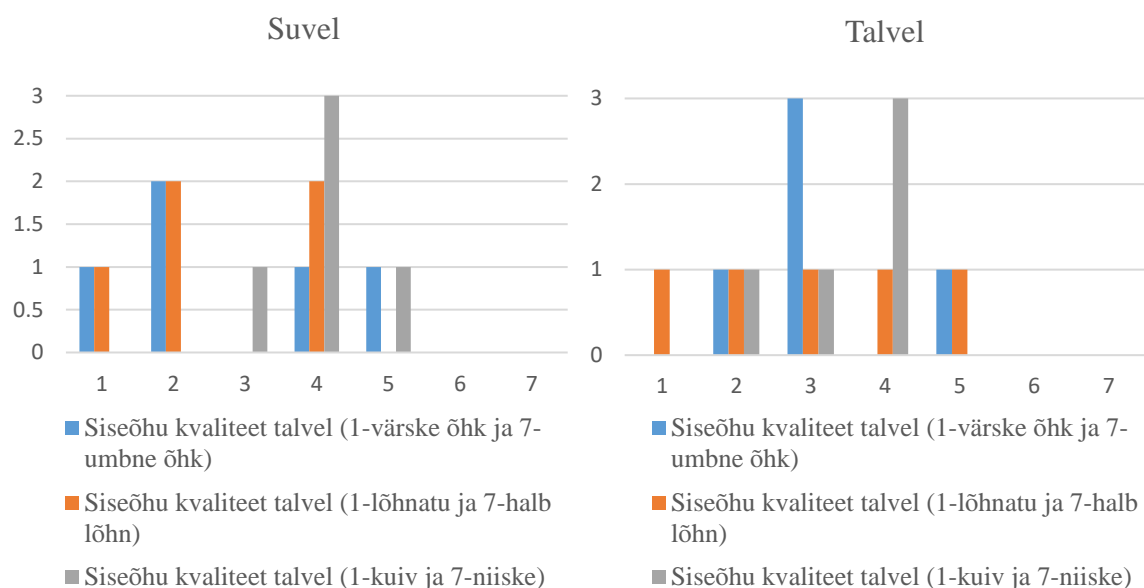
Küsitlusele vastanud hoonetest 60% läheb akna sisepind uduseks söögi tegemisel. Akendele niiske õhu kondenseerumine on üldiselt tingitud ebapiisavast ventilatsioonist ning liigsest õhuniiskusest söögi tegemisel. Oluliselt tõstab niiskuskkoormust siseruumides riide kuivatamine, mida tehti 80% uuritavatest hoonetest. Vaid üks vastanuist väitis, et külmadel talvedel tekib tema kodus akendele härmatis. Toa sisepindadel hallitust ei esinenud üheski uuritavas hoones.

Kütte- ja ventilatsiooni probleemide suurust hinnati ankeedis skaalal 1-7, kus näiteks vastas 1 - liiga soe ja 7 - liiga külm temperatuur. Joonisel 23 on ankeedi alusel graafikuna kujutatud hoonete sisetemperatuurid. Võib öelda, et üldiselt on elanikud toa siseõhu temperatuuridega rahul, vaid ühes elamus oli siseõhk suvel liiga soe ning ühes hoones leiti, et talviti on siseõhk liiga külm. Rohkem häiris elanike külm põranda temperatuur talviti. Elamutes nr. 3 ja nr. 4 on toimub hoone kütmine ahju(-de) abil. Mõlemas elamus leiti, et talviti on toas sisetemperatuuri kõikumine liiga suur.



Joonis 23. Kütteprobleemide suurus uuritud elamutes hindepunktides.

Kütte- ja ventilatsiooniseadmete müra ei olnud üheski elamus probleemiks. Siseõhukvaliteeti hinnati üldiselt heaks. Elanikud hindasid üldiselt nii talvist kui ka suvist siseõhu kvaliteeti heaks. Aastaaeg mõjutas minimaalselt siseõhu kvaliteeti. Head siseõhu kvaliteedi tulemused on tingitud piisavast hoone tuulutamisest. Kõigis elamutes, kus sees elati toimus akna kaudu tuulutamine nii suvel kui talvel vähemalt korra nädalas. Joonis 24 annab ülevaate siseõhu kvaliteedi hinnangutest.



Joonis 24. Elamute siseõhu kvaliteet suvel (vasakpoolne) ja talvel (parempoolne).

3.3 Termograafia tulemused

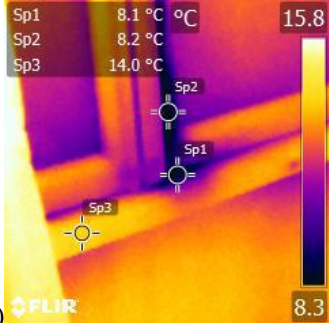

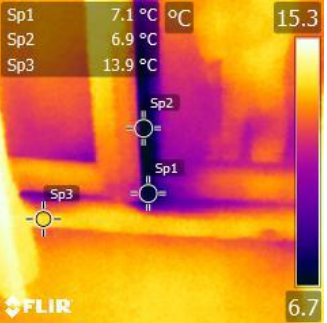
Igas uuritavas puitkarkasselamus viidi läbi termografeerimine, millega tuvastati soojuslekkekohad. Elamupiirete termografeerimine viidi läbi kõigis hoonetes ainult seestpoolt, kuna seestpoolt termografeerimine võimaldab paremini hinnata soojuslekkede kriitilisust. Igas elamus teostati termografeerimist kaks korda – esmalt passiivses olukorras ehk enne alarõhu tekitamist ning hiljem aktiivses olukorras ehk 50Pa alarõhu juures. Kõige suuremad soojuslekked tuvastati:

- avatäidetes ja nende ümbruses;
- välisseina ja vahelae liitekohtades;
- põranda ning välisseina liitekohas;
- välisseina välisnurkades;
- elektriseadmete ja juhtmestiku läbiviikudes.

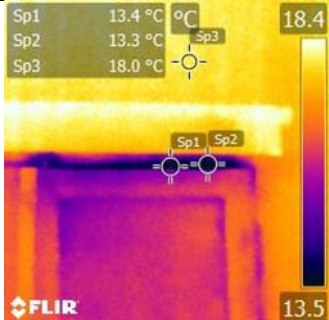

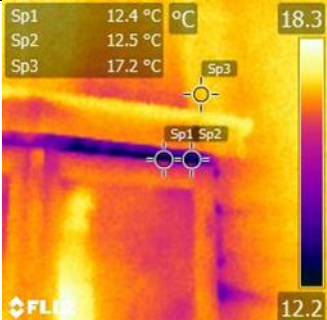
Juhul kui külmasilla juures oli ka õhuleke, siis 50Pa alarõhu juures termografeerimine võimaldas võrreldes passiivse olukorraga piirete soojuslekked. Näiteks võrreldes tabelis 13 tavaolukorras tehtud termopilti ja alarõhu juures tehtud, on sisepinna temperatuuride erinevus 1-4°C. Iga joonise puhul on leitud temperatuuriindeks ning analüüsitud seda tuues välja veeauru kondenseerumise ning hallituse tekke ohud.

Kõige probleemsemad kohad olid avatäited. Mitmes elamus olid ukse või akna ja välisseinavahelised vuugid ebapiisavalt tihendatud. Aknavuukide tihendamisel oli peamiselt ainult montaaživahtu kasutatud, kuigi aknateip parandab oluliselt õhupidavust siis enamus hoonetes seda kasutatud polnud. Esines olukordi, kus välisustel või akendel puudusid tihendid või olid tihendid väga halvas seisukorras ning ei täitnud oma ülesannet. Soojuslekkeid põhjustasid ukselehe ning ilma paketit akende arvuliselt kõrged soojusjuhtivused. Tabelid 10-12 annavad ülevaate avatäidete soojuslekete olukorrast.

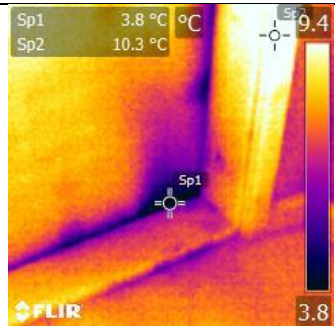

Tabel 10. Soojusleke aknatihendi vahelt. a) termopilt passiivsest olukorrast; b) foto olukorrast; c) termopilt aktiivsest olukorrast

 <p>a) FLIR</p>	 <p>b)</p>	 <p>c) FLIR</p>		
<p>Sp1=8,1°C Sp2=8,2°C Sp3=14,0°C</p>	<p>$f_{Rsi}=0,46$ $f_{Rsi}=0,46$ $f_{Rsi}=0,78$</p>	<p>välisõhu temperatuur = -0,5°C siseõhu temperatuur = 18,1°C</p>	<p>Sp1=7,1°C Sp2=6,9°C Sp3=13,9°C</p>	<p>$f_{Rsi}=0,41$ $f_{Rsi}=0,40$ $f_{Rsi}=0,77$</p>
<p>Järeldus: Nii passiivses kui ka aktiivses olukorras on aknatihendi juures oht veeauru kondenseerumisele ning hallituse tekkele.</p>				

Tabel 11. Soojusleke aknavuugi vahelt. a) termopilt passiivsest olukorrast; b) foto olukorrast; c) termopilt aktiivsest olukorrast

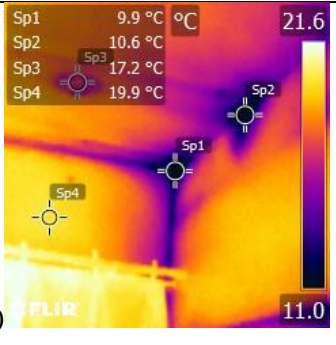

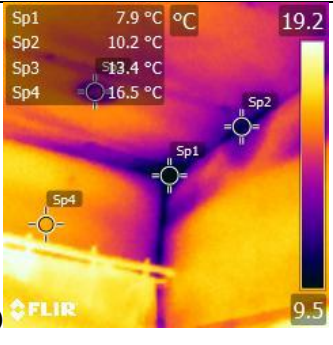
 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	 <p>c)</p>		
<p>Sp1=13,4°C Sp2=13,3°C Sp3=18,0°C</p>	<p>$f_{Rsi}=0,75$ $f_{Rsi}=0,74$ $f_{Rsi}=0,99$</p>	<p>välisõhu temperatuur = -0,5°C siseõhu temperatuur = 18,1°C</p>	<p>Sp1=12,4°C Sp2=12,5°C Sp3=17,2°C</p>	<p>$f_{Rsi}=0,70$ $f_{Rsi}=0,70$ $f_{Rsi}=0,95$</p>
<p>Järeldus: Kuna antud hoones on vanad ilma paketit puitraamis aknad, mille loomulik ventilatsioon on suhteliselt hea, siis antud kohas suurt hallituse tekke ohtu ei esine.</p>				

Tabel 12. Soojusleke välisukse vahelt. a) termopilt passiivsest olukorrast; b) foto olukorrast

 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	
Sp1= 3.8°C Sp2= 10.3°C	f_{Rsi} = 0,15 f_{Rsi} = 0,46	välisõhu temperatuur = +0.6°C siseõhu temperatuur = 21.7°C
<p>Järeldus: Antud olukorras on küll suur sisepinna temperatuuride erinevus, kuid kuna tegemist on välisuksega, mida päevas mitu korda avatakse ja mis tagab sellele kohale hea tuuldumise, siis hallituse tekkele ohtu pole. Küll aga võib talvel külmadega see koht härma minna.</p>		

Külmasildasid esines välisseinte ja vahelae liitumiskohas ning välisseinte ja põranda liitumisel. Lisaks oli soojuslekked välisseinte välimistes nurkades ning seina karkassipostide peal. Tabelid 13-18 annavad ülevaate hoonetes esinenud soojusleketest välisseinte nurkades ning välisseina ja vahelae liitekohas.

Tabel 13. Soojusleke välisseinte välimises nurgas ning liitumisel vahelaeaga. a) termopilt passiivsest olukorrast; b) foto olukorrast; c) termopilt aktiivsest olukorrast

 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	 <p>c)</p>		
<p>Sp1= 9,9°C Sp2= 10,6°C Sp3= 17,2°C Sp4= 19,9°C</p>	<p>f_{Rsi}= 0,49 f_{Rsi}= 0,52 f_{Rsi}= 0,78 f_{Rsi}= 0,88</p>	<p>välisõhu temperatuur = -2.6°C siseõhu temperatuur = 22,9°C</p>	<p>Sp1= 7,9°C Sp2= 10,2°C Sp3= 13,4°C Sp4= 16,5°C</p>	<p>f_{Rsi}= 0,41 f_{Rsi}= 0,50 f_{Rsi}= 0,63 f_{Rsi}= 0,75</p>
<p>Järeldus: Pinnatemperatuurid kahanevad aktiivses olukorras ligikaudu 1-4°C. Nii aktiivses kui ka passiivses olukorras on punktides Sp1 ja Sp2 oht veeauru kondenseerumisele ning hallituse tekkele.</p>				

Tabel 14. Soojusleke välisseinte liitumisel vahelaega. a) termopilt passiivsest olukorrast; b) foto olukorrast; c) termopilt aktiivsest olukorrast

Sp1= 9,5°C Sp2= 12,4°C Sp3= 20,1°C $f_{Rsi}= 0,51$ $f_{Rsi}= 0,63$ $f_{Rsi}= 0,95$	välisõhu temperatuur = -2,9°C siseõhu temperatuur = 21,4°C	Sp1= 9,5°C Sp2= 11,6°C Sp3= 18,8°C $f_{Rsi}= 0,51$ $f_{Rsi}= 0,60$ $f_{Rsi}= 0,89$
Järeldus: Pinnatemperatuurid on aktiivses ja passiivses olukorras sarnased. Nii aktiivses kui ka passiivses olukorras on punktides Sp1 ja Sp2 oht veeauru kondenseerumisele ning hallituse tekkele.		

Tabel 15. Soojusleke välisseinte välisnurgas liitumisel vahelaega. a) termopilt passiivsest olukorrast; b) foto olukorrast

Sp1= 17,1°C Sp2= 18,9°C Sp3= 24,0°C $f_{Rsi}= 0,77$ $f_{Rsi}= 0,84$ $f_{Rsi}= 1,04$	välisõhu temperatuur = -2,6°C siseõhu temperatuur = 22,9°C
Järeldus: Sisepinna temperatuurid on madalamad elamu vahelaie liitumiskohas ning välisseinte välisnurgas, suuremat ohtu veeauru kondenseerumisele ja hallituse tekkele ei esine.	

Tabel 16. Külmasild seinakarkassil. a) termopilt passiivsest olukorrast; b) foto olukorrast

Sp1= 21,5°C Sp2= 21,5°C Sp3= 23,2°C $f_{Rsi}= 0,95$ $f_{Rsi}= 0,95$ $f_{Rsi}= 1,01$	välisõhu temperatuur = -2,6°C siseõhu temperatuur = 22,9°C
Järeldus: Termopildilt on selgelt näha seinakarkass, kus on ka pinnatemperatuur 1,7°C madalam, kuid sellest hoolimata ei esine seal ohtu veeauru kondenseerumisele või hallituse tekkele.	

Tabel 17. Külmasild välisseinte nurgas. a) termopilt passiivsest olukorrast; b) foto olukorrast; c) termopilt aktiivsest olukorrast

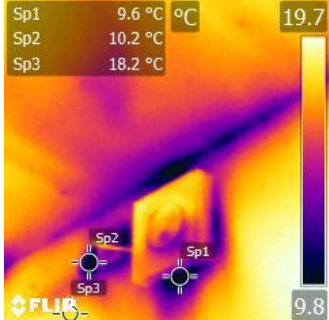

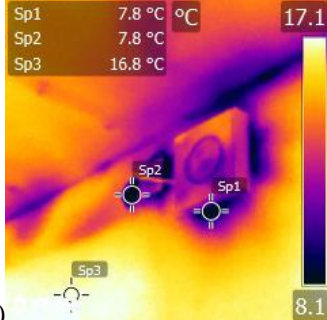
Sp1= 1,4°C Sp2= 5,0°C Sp3= 14,8°C $f_{Rsi}= 0,10$ $f_{Rsi}= 0,30$ $f_{Rsi}= 0,82$	välisõhu temperatuur = -0,5°C siseõhu temperatuur = 18,1°C	Sp1= -0,3°C Sp2= 4,1°C Sp3= 13,0°C $f_{Rsi}= 0,01$ $f_{Rsi}= 0,25$ $f_{Rsi}= 0,73$
Järeldus: WC-s asuv hoone välisseinte nurk äärmiselt külm ning esineb oht veeauru kondenseerumisele ja hallituse tekkele. Fotolt on näha, kuidas kõige külmemas nurgas on keraamiliseplaadi imitatsiooniga tapeet niiskusest tingituna lahti löönud.		

Tabel 18. Külmasild vannitoa nurgas. a) termopilt passiivses olukorras; b) foto olukorrast

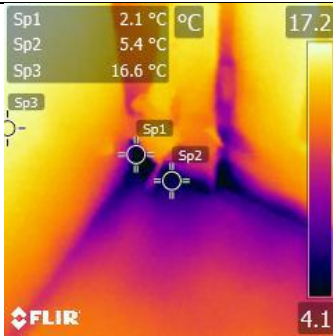

Sp1= 13,7°C Sp2= 16,0°C Sp3= 20,1°C $f_{Rsi}=0,64$ $f_{Rsi}=0,73$ $f_{Rsi}=0,89$	välisõhu temperatuur = -2,6°C siseõhu temperatuur = 22,9°C
Järeldus: Punktis Sp1 esineb oht veeauru kondenseerumisele ja hallituse tekkele ning punktis Sp2 esineb oht hallituse tekkele.	

Soojuslekked elamutes põhjustasid ka elektriseadmete või juhtmistiku läbiviigud välisseintes. Lisaks on tabeli 19 põhjal näha, et elektriseadmete ja juhtmistiku läbiviigu kohta tekib arvestatav õhuleke - temperatuuride erinevused passiivses ja aktiivses olukorras olid kuni 2,4°C. Tabelid 19 ja 20 annavad ülevaate soojusleketest elektrijuhtmistiku ja seadmete läbiviikudes.

Tabel 19. Soojusleke uksekella ning kõrval oleva pistikupesa läbiviigu kohas. a) termopilt passiivsest olukorrast; b) foto olukorrast; c) termopilt aktiivsest olukorrast

 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	 <p>c)</p>		
<p>Sp1= 9,6°C Sp2= 10,2°C Sp3= 18,2°C</p>	<p>$f_{Rsi} = 0,51$ $f_{Rsi} = 0,54$ $f_{Rsi} = 0,87$</p>	<p>välisõhu temperatuur = -2,9°C siseõhu temperatuur = 21,4°C</p>	<p>Sp1= 7,8°C Sp2= 7,8°C Sp3= 16,8°C</p>	<p>$f_{Rsi} = 0,44$ $f_{Rsi} = 0,44$ $f_{Rsi} = 0,82$</p>
<p>Järeldus: Punktides Sp1 ja Sp2 esineb oht hallituse tekkele ja veeauru kondenseerumisele. Suur temperatuuride erinevus passiivses ja aktiivses olukorras näitab, et antud kohas on ka õhuleke.</p>				

Tabel 20. Külmasild välisseinal oleva harukarbi juures. a) termopilt passiivsest olukorrast; b) foto olukorrast

<p>a)</p>  <p>Sp1 2.1 °C Sp2 5.4 °C Sp3 16.6 °C</p> <p>FLIR</p>	<p>b)</p> 	
<p>Sp1= 2,1°C Sp2= 5,4°C Sp3= 16,6°C</p>	<p>$f_{Rsi} = 0,18$ $f_{Rsi} = 0,31$ $f_{Rsi} = 0,75$</p>	<p>välisõhu temperatuur = -2,6°C siseõhu temperatuur = 22,9°C</p>
<p>Järeldus: Punktides Sp1 ja Sp2 esineb oht hallituse tekkele ja veeauru kondenseerumisele.</p>		

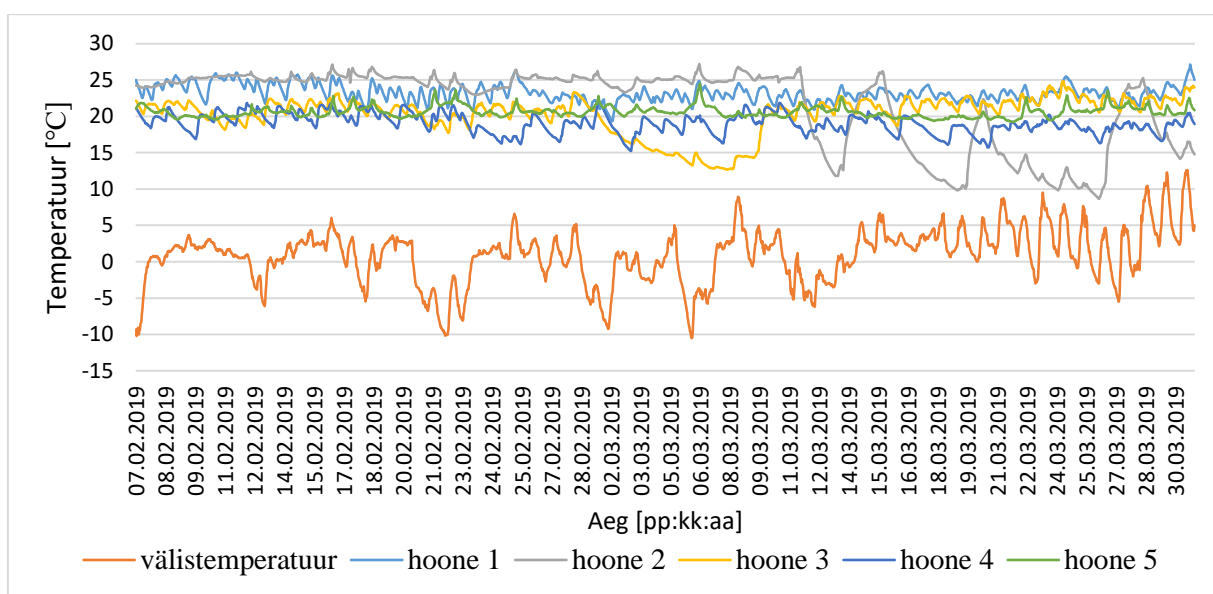
3.4 Sisekliima tulemused

Uuritavates puitkarkasselamutes toimus sisetemperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse mõõtmine andmesalvestajatega perioodil 07.02.2019 – 30.03.2019. Tabel 21 toob välja kõikide uuringus osalenud elamute keskmised sisetemperatuurid ja õhuniiskused antud perioodil. Kõige kõrgema keskmise sisetemperatuuriga elamu oli 23,2°C mõõdetuna hoones nr. 1 ja kõige madalam keskmise sisetemperatuur oli hoones nr. 4, milleks oli 19,0°C. Kõige kõrgem suhteline õhuniiskus oli 39,6%, mõõdetuna hoones nr. 3 ning kõige madalam suhteline

õhuniiskus oli 25,8%, mõõdetuna hoones nr. 2. Antud perioodil kõigi hoonete keskmine temperatuur oli 21,0 °C ja suhteline õhuniiskus RH 33,9%.

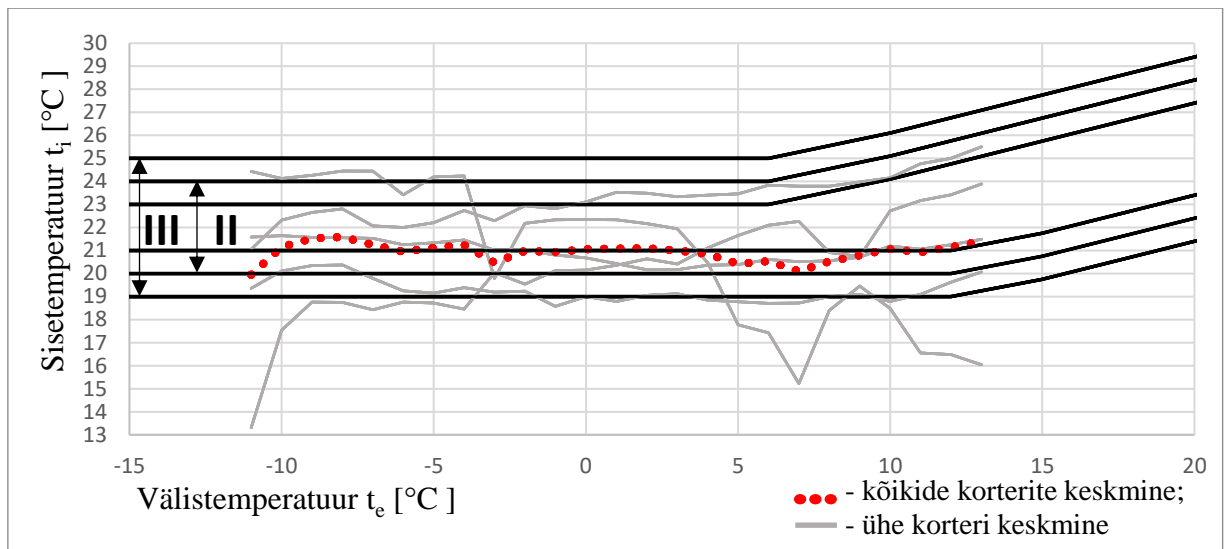
Tabel 21. Hoonete keskmine temperatuur ja suhteline õhuniiskus

Hoone nr.	Mõõdetav ruum	Keskmine temperatuur [°C]	Keskmine RH [%]
1	magamistuba	23,2	34,0
2	elutuba	21,6	25,8
3	elutuba	20,3	39,6
4	elutuba	19,0	33,8
5	magamistuba	20,6	36,5
Keskmine		21,0	33,9



Joonis 25. Temperatuurid ajavahemikul 07.02-30.03.2019.

Joonisel 25 on graafikuna kujutatud välistemperatuur ja hoonete sisesed temperatuurid mõõdetud kuupäevadel 07.02.2019 – 30.03.2019. Nendel kuupäevadel oli kõige madalam mõõdetud väline temperatuur -10,5°C ja kõige kõrgem mõõdetud välistemperatuur 12,6°C. Hoone sisestest temperatuuridest olid nii kõige madalam 8,6°C kui ka kõige kõrgem temperatuur 27,2°C hoones nr. 2. Selles hoones oli ka kõige suurem temperatuuride kõikumine. Kõige stabiilsem temperatuur oli hoones nr. 5, kus minimaalne sisemine temperatuur oli 19,2°C ja maksimaalne 24,5°C. Kõigis korterites oli temperatuuri kõikumine suur, mis oli tingitud küttesüsteemidest ja elanike harjumustest.

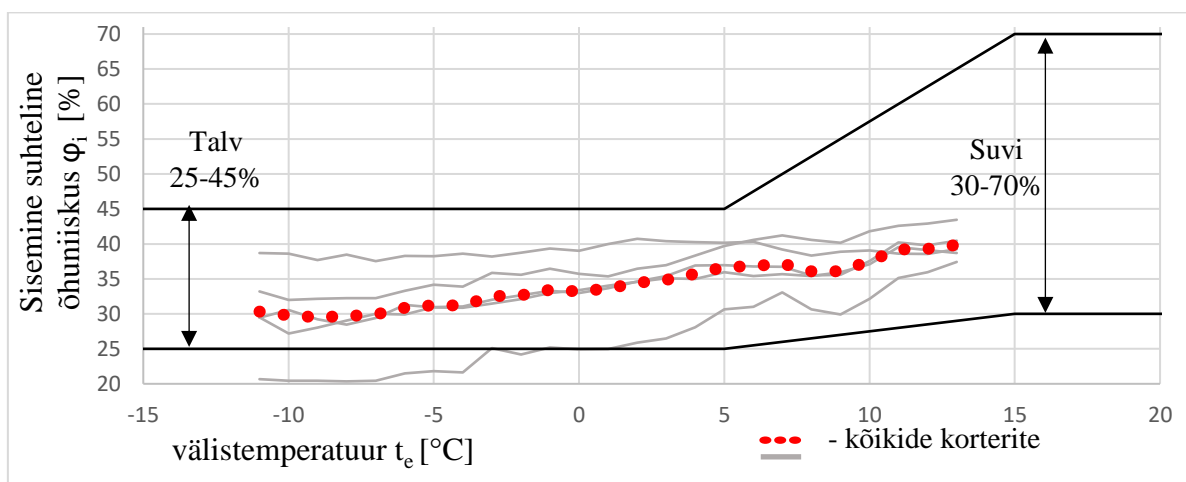


Joonis 26. Uuritud hoonete sisetemperatuuri seosed välistemperatuuriga [27].

Katsete tegemine toimus kütteperioodil. Saadud andmeid on analüüsitud ning on leitud sisetemperatuuri seosed välistemperatuuridega. Joonis 26 kujutab endast kõikide elamute sisetemperatuuri sõltuvust välistemperatuuridest. Lisaks on joonisele 26 ära märgitud sisekliimaklassid II ja III, mis kujutavad endast [27]:

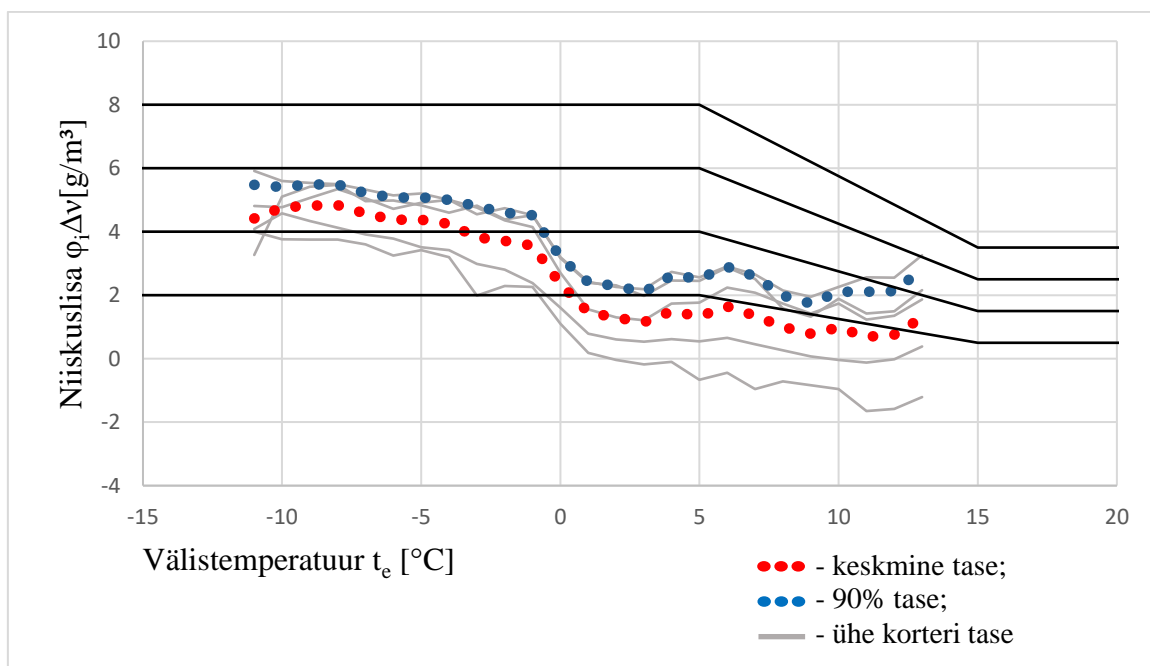
- Sisekliima klass II – Sisaldab endas tavapäraseid nõudeid sisekliima kvaliteedile ning saab rakendada uutes ja renoveeritavates hoonetes;
- Sisekliima klass III – Sisaldab endas mõõdukaid nõudeid sisekliima kvaliteedile ning saab rakendada olemasolevates hoonetes.

Enamus elamud olid pigem alaköetud, kui üle köetud. Sisemine keskmine temperatuur jäi üldjoontes II sisekliima klassi alumise osa piiridesse.



Joonis 27. Elamute siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist [27].

Joonisel 27 on kujutatud elamu sisemise suhtelise õhuniiskuse sõltuvust välistemperatuurist. Mõõtmisperioodil oli kõige madalam suhteline õhuniiskus elamus nr. 2, kus selleks oli 18,9% ning kõige kõrgem suhteline õhuniiskus oli elamus nr. 3, kus selleks oli 51,4%. Kõigi elamute keskmine suhteline õhuniiskus oli 33,9%. Kuigi elamute keskmine suhteline õhuniiskus jääb graafikul musta joonega kuvatud soovituslike piiride sisse, milleks on talvel 25...45 % ja suvel 30...70 %, siis mõõtetulemuste suur hajuvus viitab niiskustootluse, ventilatsiooni ja ruumitemperatuuri suurele varieeruvusele [1, 27].



Joonis 28. Niiskulisa sõltuvus välistemperatuurist [11].

Joonisel 28 on kujutatud graafik, mis iseloomustab niiskulisa sõltuvust välistemperatuurist. Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehnilise seisukorra ning prognoositava eluea uuringu lõppraportist selgub, et niiskukoormust mõjutavad [1]:

- suurem majutustihedus suurendab niiskukoormust;
- toas pesukuivatus suurendab niiskukoormust;
- akende vahetamisel ilma ventilatsiooni renoveerimata või värskõhuklappide paigaldamiseta suureneb niiskukoormus;
- toataimede arv ja sellest sõltuv kastmine korteris suurendab niiskukoormust.

Uuringus osalenud hoonetest oli üldandmete järgi kõige madalam (-3,14%... 5,03%) niiskukoormus hoones nr. 2, kus gaasikatel hoidis toas sooja temperatuuri aga reaalselt elanikke hoones sees ei elanud. Kõigis teistes hoonetes elati sees ning seal oli keskmine

niiskuskoormus väga sarnane üksteisega. Keskmise niiskuselise arvutussuurus 90% taseme juures oli kuni 0°C juures +5g/m³ ja soojema välistemperatuuri kui 0°C puhul +3g/m³.

3.5 Piirete õhupidavuse tulemused

Kõigis hoonetes viidi läbi õhupidavuse test tekitades eluruumides ala- ja ülerõhku. Seadmena kasutati ventilaatorseadet *BlowerDoor*. Katse viidi läbi tuginedes standardile EVS-EN ISO 9972:2015 [24].

Hoonepiirete õhupidavust hinnatakse 2 näitaja abil [24]:

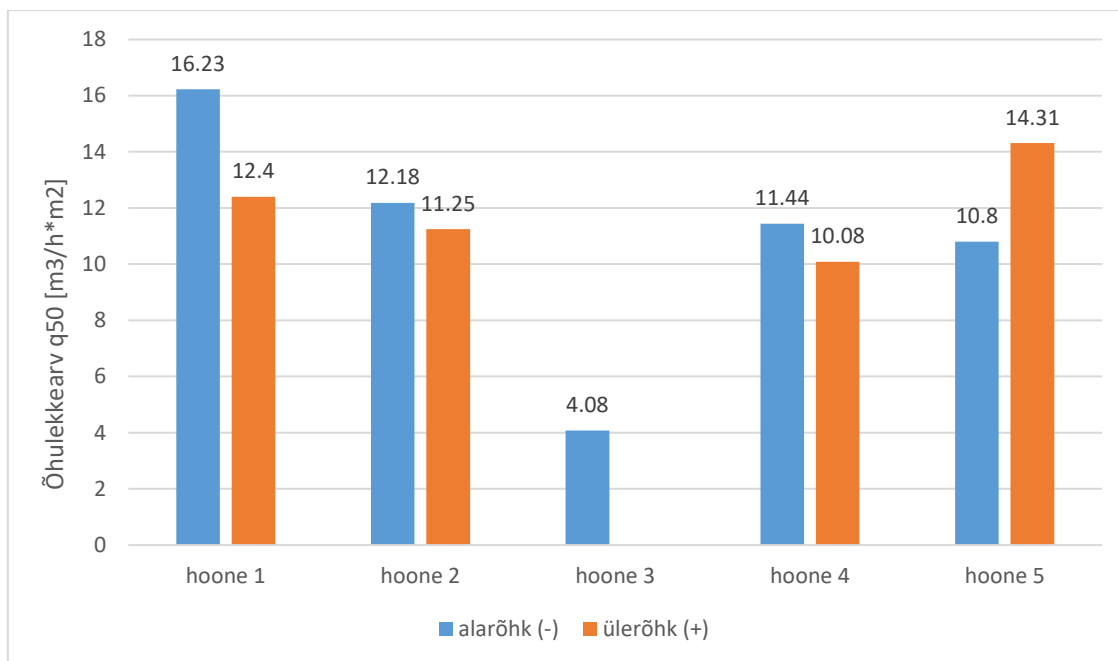
- Õhulekkearv q_{50} , [m³/(h*m²)] – näitab õhuleket, mis läbib välispiirde pindala 50Pa õhurõhu erinevuse juures.
- Õhuvahetuskordsus n_{50} , [h⁻¹] – näitab õhuleket 50Pa juures arvestatuna hoone kubatuurile.

Õhulekkearv ja õhuvahetuskordsus on sõltuv hoone mõõtmetest. Kõigis hoonetes mõõdeti lasermõõtja abil hoone eluruumide mõõtmed ning arvutati eluruumide ruumala ning välispiirete pindalad. Hoonete mõõtmed ja õhuvahetuskordsus on välja toodud tabelis 22.

Tabel 22. Hoonepiirete õhupidavuse tulemused

Hoone nr.	Hoone esmane kasutus, [a]	Hoone eluruumide välispiirete pindala, [m ²]	Hoone eluruumide ruumala, [m ³]	Ülerõhu juures n_{50} , [h ⁻¹]	Alarõhu juures n_{50} , [h ⁻¹]
1	1988	386,4	377,2	12,71	16,62
2	1960	168,9	123,9	15,33	16,61
3	1958	412,0	303,3		5,55
4	1960	289,0	220,1	13,24	15,02
5	1976	429,0	325,0	18,89	14,26
			keskmine	15,04	13,61

Ala- ja ülerõhu juures tehtud piirete õhupidavustestid viidi läbi kõigis hoonetes, peale hoone nr. 3, kus hoone omaniku palvel tehti ainult alarõhu juures test. Joonis 29 annab ülevaate hoonetes mõõdetud õhulekkearvudest ala- ja ülerõhu juures.



Joonis 29. Hoonete õhulekkearvud ala- ja ülerõhu juures.

Alarõhu juures oli hoonete keskmine õhulekkearv $10,95 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ja keskmine õhuvahetuskordus $13,61 \text{ h}^{-1}$. Mõõdetud hoonetest madalaima ja ühtlasi parima õhulekkearvu ja õhuvahetuskordsusega oli hoone nr. 3, kus õhulekkearv oli $4,08 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ja õhuvahetuskordsus $5,55 \text{ h}^{-1}$. Kõige halvemad tulemused olid hoones nr. 1, kus õhulekkearv oli $16,23 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ja õhuvahetuskordsus $16,62 \text{ h}^{-1}$.

Uuritavates majades olid peamised õhulekkekohad:

- avatäidete ja seinavahelised vuugid;
- piirete välisnurgad;
- vahelae ning välispiirde liitumiskoht.

Tabel 23. Hoonete keskmised õhupidavus tulemused alarõhu juures

	$q_{50}, [\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	$n_{50}, [\text{h}^{-1}]$
Varasemate uuringute mõõtetulemused [1]	10	13
Antud magistritöö mõõtetulemused	10,95	13,61

Tabel 23 toob välja võrdluse varasemate õhupidavuse uuringutega. Varasemalt on uuringud läbiviidud puitkorterelamutes, millest osad olid puitkarkassmajad ja osad palkmajad. Antud magistritöös käsitletud hooned olid kõik puitkarkasseramud. Varasemalt uuritud puitkorterelamutes oli nii keskmine õhulekkearv, kui ka õhuvahetuskordsus madalamad. [1]

Vastavalt hoone energiatõhususe arvutamise metoodika määrusele kasutatakse üldjuhul energiaarvutustes rekonstrueeritud või olemasoleva hoone puhul õhulekkearvu baasväärtusena 6 ($\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$). Antud uurimuses oli neljal hoonel viiest see arv suurem. Antud määruks on eraldi väljatoodud, et kui õhuleke on leitud vastavalt standardile EVS-EN ISO 9972 või on võimalik seda tõendada mõnel muul nõuetekohasel viisil, siis kasutatakse energiaarvutuses mõõdetud või tõendatud väärtust. [36]

4 RENOVEERIMISVÕIMALUSED

4.1 Hoonepiirete soojusläbivus

Suur osa nõukogude ajal ehitatud puitkarkasselamutest on tänaseks jõudnud oma eeldatava eluea lõppu ning aina rohkem tuleb päevakorda elamu renoveerimine. Antud peatükk annab uuritud hoonete põhjal ülevaate võimalustest, millega oleks võimalik muuta renoveerimise teel elamu sisekliimat mugavamaks ja energiasäästlikumaks. Uuritud hoonete põhjal arvutatakse välja hetkel olemasolevad välispiirete soojusläbivused ning pakutakse võimalus nende parandamiseks. Kuna hetkel kehtivas hoone energiatõhususe miinimumnõuete määruises pole sätestatud soovitavaid välispiirete soojusläbivus nõudeid, siis lähtutakse antud töös eelmisest määruisest, mis on vastu võetud 22.01.2018 ja kaotas oma kehtivuse 31.12.2018 [17, 21]. Vastavalt sellele on soovituslikult nõutud välispiirete soojusläbivused järgmised [17]:

- välisseina soojusläbivus – $0,12\text{--}0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- katuse ja põranda soojusläbivus – $0,1\text{--}0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- akna ja ukse soojusläbivus – $0,6\text{--}1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, kusjuures lõplikud valikud tuleb teha, lähtudes hoone kompaktsusest ning kütte- ja ventilatsioonilahendusest.

Nõukogude Eestis ehitatud puitkarkasselamute levinumate seinatüüpkonstruktsioonide soojusläbivuse väärtused olid vahemikus $0,3\text{--}0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [4,5,20], lähtuvalt tänapäevastest nõuetest pakutakse välja, kuidas muuta antud uuringus osalenud hoonete välisseinte soojusläbivus tänapäeva soovituslikele normidele vastavaks. Antud peatükk ei sisalda endas elamute renoveerimisprojekti, vaid soovituslikke näpunäiteid välispiirete soojusläbivuse parandamiseks. Arvutusliku näitena leitakse välispiiretel soojusläbivus vaid välisseinte puhul, kuna vundamentide, põrandate ja katuslagede kohta puudub täielik informatsioon. Elamu renoveerimisel tuleks sarnaselt välisseintega arvutada esmalt mudelis piirete soojusläbivused ning kontrollida, et ei oleks niiskuse kondenseerumise ohtu, mis omakorda võimaldab hallitusel ja teistel mikroorganismidel elu teket.

4.2 Hoonete soojapidavuse parandamise võimalused

Hoonete välisseinte soojusjuhtivuse arvutamisel kasutatakse algandmetena uuritud hoonete projektijärgset ning elamu omanikult saadud informatsiooni. Saadud tulemused on arvutuslikud ja võivad erineda reaalsest olukorrast. Välispiirete soojusläbivused leitakse kasutades veebipõhist rakendust *U-Wert*, mis on hoone piirdetarindi soojusläbivuse väärtuse kalkulaator [35]. Leitud soojusläbivused on vaid arvutuslikud ja võivad erineda reaalsest olukorrast. Arvutuses kasutatud materjalide lähteandmed pärinevad mitmetest allikatest [34, 37, 38, 39].

Elamutel nr. 1, 3 ja 4 on kõigil teadaolevalt sama välisseina konstruktsioon. Tabel 25 annab ülevaate olemasolevast olukorrast (vasak veerg) ja soovituslikust lisasoojustamisest (parem veerg). Kuna Roliit-plaadid olid kõigil kolmel elamul niiskuskahjustustega ning kuna selle alles jätmine täiendava kivivilla alla oleks soodustanud niiskuse kondenseerumist, siis ehitusfüüsikaliselt seisukohalt oleks kõige mõistlikum olemasolev roliit-plaat eemaldada kahe soojustuskihi vahelt. Nii olemasoleva kui soovitusliku lisasoojustamise puhul puudub oht veeauru kondenseerumisele.

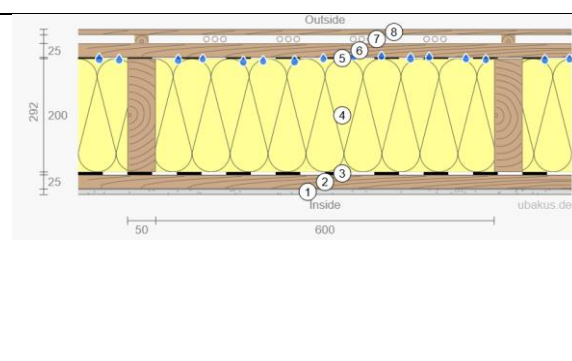
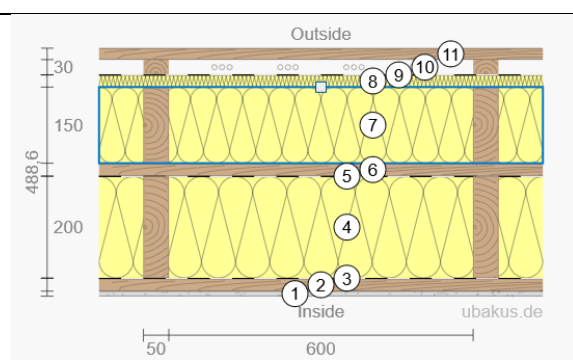
Tabel 25. Elamu nr. 1, 3 ja 4 välisseina lisasoojustamine. Vasakul veerus on esialgne seis ning paremas soovituslik viis soojustamiseks.

Hetkel olev välissein	Välissein peale soovituslikku soojustamist
1. krohv 10mm 2. puitlaastplaat 16mm 3. papp 5mm 4. termoliit 150mm/ karkass 150x100mm s600 5. tõrvapapp 2mm 6. roliit-plaat 50mm 7. krohv 10mm	1. krohv 10mm 2. puitlaastplaat 16mm 3. papp 5mm 4. termoliit 150mm/ karkass 150x100mm s600 5. tõrvapapp 2mm 6. kivivillaplaat 200mm 7. fassaadikrohv
Seinapaksus: 243mm $U = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$	Seinapaksus: 393mm $U = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kui lisada välisseina 200mm kivivillaplaadi asemel sama soojustust 250mm on võimalik saavutada soojusläbivus $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Elamus nr. 2 on hetkel oleva seinakonstruktsiooniga külmematel ilmadel oht veeauru kondenseerumisele kuni $0,17 \text{ kg/m}^2$. Seega puudub oht hallituse tekkele ja niiskus tuuldub konstruktsioonist 16 päeva jooksul. Lisasoojustamisel oleks soovituslik eemaldada välisvoodrilauad koos distanttsliistudega. Seejärel sein soojustada 150mm paksuselt mineraalvillaga ja katta 24mm tuuletõkkeplaadiga ning tuuletõkke kangaga. Peale soovituslikku soojustamist ei teki enam tarindis veeauru kondenseerumist ning välisseina soojaläbivus oleks varasema $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ asemel $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lisades soojustamisel 150mm asemel 200mm lisasoojustust on võimalik saavutada välisseinas arvutuslik soojusläbivus $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tabel 26 annab ülevaate olemasolevast olukorrast (vasak veerg) ja lisasoojustamisest 150mm mineraalvillaga (parem veerg).

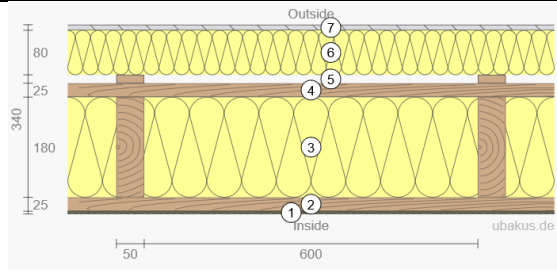
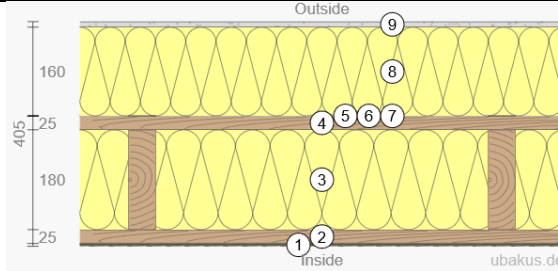
Tabel 26. Elamu nr. 2 välisseina lisasoojustamine. Vasakul veerus on esialgne seis ning paremas soovituslik viis soojustamiseks.

Praegune välissein	Välissein peale soovituslikku soojustamist
	
1. pehme papp 2. horisontaalne laudvooder 25mm 3. termoliit 200mm/ karkass 200x50mm s600 4. tõrvapapp 5. laudis 6. õhkvahe 15mm/ distanttsliist 15x30mm 7. rõhtvooder 20mm	1. pehme papp 2. horisontaalne laudvooder 25mm 3. termoliit 200mm/ karkass 200x50mm s600 4. tõrvapapp 5. laudis 6. mineraalvill 150mm/ karkass 150x50mm s600 7. ISOVER Integra UKF-035 24mm 8. Tyvek H1 õhkvahe 30mm/ distanttsliist 30x50mm 9. rõhtvooder 20mm
seina paksus: 292mm $U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$	seina paksus: 488,6mm $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$

Elamu nr. 5 seintes puudub oht niiskuse kondenseerumisele. Kuna hetkel olevas seinas on TEP-plaadi ja ülejäänud linaluust seinasoojustuse vahel õhkvahe, siis välisseina lisasoojustamisel tuleb eemaldada TEP-plaadid koos terrasiitkrohviga. Seejärel oleks mõistlik soojustada sein jäikvillaplaatidega, mille saaks kinnitada seinakonstruktsiooni külge ja hiljem väljast fassaadikrohviga krohvida. Kui esialgse välisseina arvutuslik

soojusläbivus on $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$, siis 160mm kivivillaplaadiga lisasoojustamisel oleks võimalik saavutada $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ soojusjuhtivusega sein. Kui aga soojustada seina 200mm paksuselt jäiga kivivillaplaadiga on arvutuslikult seina soojusläbivus $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tabel 27 annab ülevaate olemasolevast olukorrast (vasak veerg) ja lisasoojustamisest 160mm jäiga kivivillaplaadiga (parem veerg).

Tabel 27. Elamu nr. 5 välisseina lisasoojustamine. Vasakul veerus on esialgne seis ning paremas soovituslik viis soojustamiseks.

Hetkel olev välissein	Välissein peale soovituslikku soojustamist
	
1. pehme papp 2. horisontaalne laudis 25mm 3. linaluu 180mm 4. horisontaalne laudis 25mm 5. distantслиist 15x50mm s600 6. tep-plaat 50mm 7. terrasiitkrohv	1. pehme papp 2. horisontaalne laudis 25mm 3. linaluu 180mm 4. horisontaalne laudis 25mm 5. kivivillaplaat 160mm 6. fassaadikrohv
seina paksus: 340mm $U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ Puudub oht niiskuse kondenseerumisele.	seina paksus: 405mm $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ Puudub oht niiskuse kondenseerumisele.

Kolme näite põhjal on näha, et kui on soov muuta nõukogudeaegse puitkarkasselamu välisseinu soojapidavamaks on vaja lisada 150-200mm mineraalvilla väliskihti. Eespool toodud soovitused on vaid näited, mille põhjal ei saa renoveerimistöid läbi viia. Renoveerimistöödel tuleb elamu lahendada individuaalselt, koostades elamule renoveerimisprojekt, kus on lahendatud kõiksugused iseärasused ja tingimused.

Kuna enamus hoonetes pööningutele ei pääsenud ja algsetes projektides puudus põhjalik informatsioon katuslagede konstruktsioonide ning soojustuse kohta, siis antud magistritöös konkreetsete elamute puhul näiteid ei tooda. Küll aga elamu piirete soojustamisel on soovituslik katuslagi üle vaadata ning lisada lisasoojustust või vahetada välja olemasolev soojustus. Tuginedes varasematele uuringutele peaks soovituslik katuslae konstruktsioon

olema soojustatud võimalusel vähemalt 300mm paksuselt puiste mineraalvillaga, et tagada soovituslik soojaläbivus 0,1–0,15 W/(m²·K) [17, 34].

Sarnaselt uuritavate hoonete katuslagedega puudus ka põrandate kohta piisav informatsioon, et anda soojustamisel konkreetsete majade põhiselt soovitusi. Küll aga hoone piirete soojustamisel peaks põrandad avama ja välja vahetama olemasoleva soojustuse. Antud magistritöös põrandate soojustamist ei lahendata.

Elamu piirete soojustamisel tuleks tähelepanu pöörata vundamendi seisukorrale. Vajadusel tuleks vundament lahti kaevata ning teha korralik hüdroisolatsioon ja drenaaž ning seejärel soojustada.

Kõigi elamute puhul oli akende juures tohtud soojalekked. Renoveerimisel tuleks esmalt uurida, kas akende tihendid on töokorras ning millises seisus on aknaraamid ning välisseina ja raami vaheline vuuk. Kui tihendite vahetusega ja vuugi korralikult tihendamisega pole võimalik saavutada soovitud soojapidavust on kõige mõistlikum vahetada aknad välja uute vastu ning akna ja välisseina vahelised vuugid korralikult tihendada, kasutades montaaživahtu ja aknateipi. Kuna soov on saada elamud tänapäeva mõistes soojapidavaks, siis peaks akende valikul valima aknad, mille soojusjuhtivus oleks vahemikus 0,6–1,1 W/(m²·K) [17]. Antud magistritöös elamu põhiselt akende renoveerimist või välja vahetamist ei lahendata.

Soojuslekked esines ka välisuste kaudu. Renoveerimisel peaks esmalt tähelepanu pöörama, et kas välisukse konstruktsioon on tänapäeva soovituslikele nõuetele üldse vastav võimaldades saavutada avasoojusjuhtivus 0,6–1,1 W/(m²·K) [17]. Seejärel peab kontrollima, kas ukselehe ja lengivahelised tihendid on korras ning kas välisseina ja ukselehe vaheline vuuk on piisavalt hästi tihendatud. Tulenevalt ukselehe konstruktsioonist on osadel juhtudel võimalik selles olev soojustus välja vahetada efektiivsema soojustuse vastu, et parandada soojuspidavust. Kui aga eespool pakutud võimalustega pole võimalik tagada piisavat õhu- ja soojusjuhtivust, on kõige mõistlikum välisuks välja vahetada. Antud magistritöös elamu põhiselt välisuste renoveerimist või välja vahetamist ei lahendata.

Muutes elamud õhupidavamaks tuleb tähelepanu pöörata ka ventilatsioonile. Kui momendil toimis uuritavates hoonetes ruumisisene õhuvahetus peamiselt loomuliku ventilatsiooni abil, siis õhupidavamaks muutmisel tuleks eraldi lahendada hoone ventilatsioon. Antud magistritöös eraldi hoone põhiliselt ventilatsiooni ei lahendata.

Energiatõhususe seisult mängib hoones suurt rolli küttekeha efektiivsus. Mitmes elamus olid kasutusel ahjud, gaasi- või puusöekatlad. Selleks, et tagada elamus energiasäästlikkust peaks üle vaatama nende seisukorrad. Antud magistritöös soovitusi küttesüsteemide renoveerimisel ei anta.

KOKKUVÕTE

Käesolevas magistritöös uuriti viie elamu näitel Nõukogude Eestis ehitatud puitkarkasselamute seisukorda ja pakuti välja renoveerimise võimalusi. Kõik uurimuses olevad elamud asuvad Tartu linnas ja on ehitatud ajaperioodil 1958-1988. Uuriti elamute ehitustehnilist seisukorda ning viidi läbi sisekliima mõõtmised, õhupidavuse mõõtmised ja hoonesisene termografeerimine.

Hoonete tehnilist seisukorda hinnati visuaalsel teel mitte purustava meetodiga. Sellest tulenevalt on tehnilise seisukorra hindamisel saadud tulemused subjektiivsed. Elamutes võib esineda probleeme, mida polnud võimalik määrata visuaalsel hindamisel. Toodi välja tarinditel ja eriosadel esinevad probleemid ning leiti hoone füüsilise kulumise määr kasutades AS „Kommunaalprojekt-i“ poolt koostatud ja Eesti Riikliku Elamuameti poolt kinnitatud hoonete füüsilise kulumise määramise tabeleid. Uuritud hoonete füüsilise kulumise määr varieerub 7,6% ja 52,4% vahel.

Vundamentide seisukorrad olid kõigil elamutel sarnased. Soklis esines pragusid, mis olid tingitud niiskusest ja vundamendi ebaühtlasest vajumisest. Keldrites esines liigniiskust, mis oli tingitud puuduvast või puudulikust hüdroisolatsioonist ning ebapiisavast ventilatsioonist. Välisseinad olid neljal juhul viiest pigem halvas seisukorras. Fassaadidel esines niiskuskahjustusi ning krohvi- ja värvikihi pragunemist ja lagunemist. Vahelagede puhul suuremaid visuaalselt nähtavaid probleeme ei esinenud - fikseeriti viimistluskihis jooksvaid väiksemaid mõrasid ja minimaalset talade läbipainet. Katustel esines katusekatte kulumist ja sarikate vajumist. Kõigis elamutes esines nii sise- kui ka välisviimistluses kulumist.

Kõigis elamutes on loomulik ventilatsioon. Küttesüsteemidena olid kasutusel ahjud ning gaasi- ja puusöekatlad. Kõigis elamutes peale elamu nr. 2 olid küttesüsteemid rahuldavas seisukorras, elamus nr. 2 on gaasikatel amortiseerunud ja tuleb välja vahetada. Elektrisüsteemides oli olukord neljal juhul viiest hea ning viimases vajas kogu elektrivoolu süsteem koos juhtmestikuga vahetust. Veevarustuses ja kanalisatsioonis suuremaid vigu ei fikseeritud.

Kõigis elamutes viidi läbi hoonesisene termografeerimine, millega leiti, et kõige suuremad probleemid esinesid avatäidetes ja nende ümbruses; välisseina ja vahelae liitekohtades; põranda ning välisseina liitekohas; välisseina välisnurdades ning elektriseadmete ja juhtmestiku läbiviikudes. Külmasildade puhul leiti temperatuuriindeks ja analüüsiti olukordi, kus oli oht veeauru kondenseerumisele ja hallituse tekkele.

Sisekliima puhul mõõdeti kõigis elamutes andmesalvestajatega ajaperioodil 07.02.2019 – 30.03.2019 sisetemperatuur ja suhteline õhuniiskus. Keskmine sisetemperatuur mõõtepunktis oli 21°C ja keskmine suhteline õhuniiskus 33,9%. Mõõteperioodil kõikus väline temperatuur -10,5°C ja 12,6°C vahel. Kogutud tulemustega tehti andmeanalüüs ja võrreldi saadud tulemusi standardis EVS-EN 15251:2007 ja EVS 839:2003 toodud sisekliima klassidega. Enamus toad olid pigem alaköetud, kui üle köetud. Sisemine keskmine temperatuur jäi üldjoontes II sisekliima klassi alumise osa piiridesse.

Kõigis uuritavates puitkarkasselamutes mõõdeti piirete õhupidavust ventilaatoriga survestamise meetodil. Uuritud elamute keskmine õhulekkearv on 10,95 m³/(h*m²) ja keskmine õhuvahetuskordus 13,61 h⁻¹. Õhulekkearv varieerus 4,08 m³/(h*m²) kuni 16,23m³/(h*m²).

Hoone elanike küsitlusest selgus, et keskmiselt elas uuritavas elamus 2-3 inimest, kõige enam elanikke hoone kohta oli 5 inimest ja kõige vähem 0. Keskmiselt oli hoonetes köetavat elamispinda 101,52m², moodustades keskmiselt 42,3m² elamispinda elaniku kohta. Viimane sanitaarremont on tehtud 60% elamutes 5-10 aastat tagasi, 20% hoonetest 2-5 aastat tagasi ning 20% puhul rohkem kui 10 aastat tagasi. Elanikud olid uuritud hoonete sisetemperatuuridega üldiselt rahul, ahikütttega elamutes peeti probleemiks kõikuvat temperatuuri. Nii talvist kui ka suvist siseõhu kvaliteeti hinnati üldiselt heaks. Aastaaeg mõjutas minimaalselt siseõhu kvaliteeti.

Uuritud elamutest pole tänaseks mitte ükski enam ideaalses seisukorras. Kuna hooned on ehitatud 50 ja rohkem aastat tagasi siis puudusid nende kohta põhjalikud ehitusprojektid. Uurimuses pakub autor välja renoveerimisvõimalusi kasutades projektist ja omanikult saadud informatsiooni hoone konstruktsioonide kohta. Leitakse arvutuslikud esialgsed välisseinte soojusjuhtivused, mis varieeruvad 0,35-0,38 W/m²K vahel. Kõigi uuritud elamute näitel on välisseina vaja vähemalt 150mm lisasoojustust, et saavutada hoone

energiatõhususe miinimumnõuete määruks määratud soovituslik välisseina soojusläbivus 0,12–0,22 W/(m²·K) [17].

Tulevikus saab antud magistritöös saadud tulemusi kasutada võrdlusena elamute tehnilise seisukorra uuringutes. Pakutavad renoveerimisvõimalused on üldistavad ning renoveerimistöodel tuleks konkreetse hoone kohta koostada renoveerimisprojekt.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõpparuanne. (2011). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond. https://www.mkm.ee/sites/default/files/puitkorterelamute_uuring.pdf (14.11.2018).
2. **Alev, Üllar.** 2017. Renovation and Energy Performance Improvement of Estonian Wooden Rural Houses. Doktoritöö. Tallinna Tehnikaülikooli ehituse ja arhitektuuri instituut. Tallinn. 186 lk.
3. **Veski, A., Aarmann, K., Niine, A.** (1959). Individuaalehitaja käsiraamat. Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus. 371 lk.
4. **Veski, A.** (1969). Individuaalelamute ehitamine. Tallinn: Valgus. 446 lk.
5. **Jürgenson, L.** (1949). Elamuehitus I – ehitusfüüsika ja –ökonoomika, -materjalid ja põhitärandid. Tartu: RK „Teaduslik kirjandus“. 467 lk.
6. Tartu linnaplaneeringute ja ehitusprojektide arhiiv (19.11.2018).
7. **Vitsut, Mihkel.** 2017. Tellis- ja suurplokk korterelamute ehitustehnilise seisukorra hindamine ja korterite sisekliima renoveerimiseelne mõõtmine. Magistritöö. Eesti Maaülikool metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 70 lk.
8. Soojusisolatsioon. (2001). Thermal performance of buildings -Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes - Infrared method: EVS-EN 13187:2001. Tallinn: Eesti Standardikeskus. [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-13187-2001> (03.02.2019).
9. FLIR Systems, Inc. (2010). Flir b50 Technical Data. [on-line] <http://www.farnell.com/datasheets/1718881.pdf> (01.02.2019).
10. FLIR Systems, Inc. (2012). Flir i7 Technical Data. [on-line] <https://www.isoproc.be/images/uploads/products/Flir/i/i7-technische-fiche-technique-flir-camera-thermographie-thermographie-EN.pdf> (01.02.2019).
11. Ehituselemendid üldiselt; soojusisolatsioon. (2012). Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods: EVS-EN ISO 13788:2012. Tallinn: Eesti Standardikeskus. [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-13788-2012> (03.02.2019).
12. Maa-amet. (2019). Maainfo kaardirakendus. [veebileht] <https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis> (17.03.2019).

13. Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga: Uuringu lõppraport. (2010). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond. https://www.mkm.ee/sites/default/files/telliskorterelamute_uuring.pdf (14.11.2018).
14. Soojusisolatsioon. (2017). Thermal bridges in building construction Heat flows and surface temperatures Detailed calculations: EVS-EN ISO 10211:2017. Tallinn: Eesti Standardikeskus. [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-10211-2017> (03.02.2019).
15. Onset Computer Corporation. (2009). Hobo®U12 Temp/RH Data Logger. [on-line] https://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/13127-A-MAN-U12011.pdf (16.03.2019).
16. Hooned; hoonete sise- ja välisõhutus. (2003). Sisekliima: EVS 839:2003. Tallinn: Eesti Standardikeskus. [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-839-2003> (08.02.2019).
17. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. (vastu võetud 03.06.2015, jõustunud 01.07.2015). – *Riigi Teataja*. <https://www.riigiteataja.ee/akt/119012018006> (17.05.2019).
18. **Ossipov, L., Jakovlev, G.** (1965). Ehitustehnika alused. Tallinn: Valgus. 334 lk.
19. Sõjajärgne individuaalmaja. (2014). /Koost. M. Aavik, Tallinna Kultuuriväärtuste Amet. Tallinn: Tallinna Kultuuriväärtuste Amet. 40 lk.
20. **Masso, T.** (1990). Väikemajad. Tallinn: Valgus. 239 lk.
21. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. (vastu võetud 11.12.2018). – *Riigi Teataja*. <https://www.riigiteataja.ee/akt/113122018014> (17.05.2019).
22. **AS Kommunaalprojekt.** (1992). Hoonete füüsilise kulumise määramise tabelid.
23. **Kalamees, T.** (2008). Elamupiirete õhupidavus: Uurimistöö „Elamute õhulekkearvu baasväärtuse väljaselgitamine ja õhulekkearvu muul viisil tõendamise meetodika väljatöötamine“ raport. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool Ehitusfüüsika ja arhitektuuri õppetool. 76 lk.
24. Soojusisolatsioon. (2015). Hoonete soojuslik toimivus. Hoonepiirete õhulekke määramine. Ventilaatoriga survestamise meetod: EVS-EN ISO 9972:2015 Tallinn: Eesti Standardikeskus. [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-9972-2015> (01.02.2019).
25. **Vinha, J., Manelius, E., Korpi, M., Salminen, K., Kurnitski, J., Kiviste, M., Laukkanen, A.** (2015). Airtightness of residential buildings in Finland. - *Building and Environment*. Vol. 93, pp. 128-140.
26. **Šadauskienė, J., Šeduikytė, L., Paukštys, V., Banionis, K., Gailius, A.** (2007). The role of air tightness in assessment of building energy performance: Case study of Lithuania. - *Building and Environment*. Vol. 42, issue 6, pp. 2369-2377.
27. Hoonete tehnoseadmed üldiselt. (2001). Sisekeskkonna algandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist,

- soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast: EVS-EN 15251:2007. Tallinn: Eesti Standardikeskus. [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-15251-2007> (12.03.2019).
28. RL0823: Asustatud tavaeluruumide keskmine pind ja keskmine tubade arv elaniku kohta, 31. detsember 2011. (andmed uuendatud 25.10.2013). – *Eesti Statistika andmebaas*. <http://pub.stat.ee/> (05.04.2019).
 29. **Price, W.** (2006). Puitarhitektuur: maailma ajalugu. Tallinn: Sinisukk. 320 lk.
 30. Details for Conventional Woodframe Construction. (2001). American Forest & Paper Association, American Wood Council. pp. 55.
 31. **Kolb, J.** (2008). Systems in Timber Engineering: Loadbearing Structures and Component Layers. Germany: Lignum Holzwirtschaft Schweiz, Birkhäuser Verlag AG [on-line] https://www.academia.edu/20019679/Systems_in_Timber_Engineering_Loadbearing_Structures_and_Component_Layers (08.05.2019).
 32. Plank-and-Beamframing for Residential buildings. (2003). American Forest & Paper Association. American Wood Council. pp. 40.
 33. **Kiviselg, F., Ojamaa, E.** (1964). Kohalikud ehitusmaterjalid. Tallinn: Eesti riiklik kirjastus. 278 lk.
 34. Hoonete elutsükli keskkonnasäästlikkuse hindamine, analüüs ja modelleerimine: vahearuanne 2008. ja 2009. aasta kohta. (2009). Tartu: Eesti Maaülikool. http://ecobon.ee/doc/P8003_Vahearuanne_Miljan.pdf (17.05.2019).
 35. Ubakus. (s.a). U-wert rechner. [veebileht] <https://www.ubakus.de/u-wert-rechner> (17.05.2019).
 36. Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika. (vastu võetud 05.06.2015). – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/118012019012> (17.05.2019).
 37. **Rohusaar, J., Mägi, R., Masso, T., Talvik, I., Jaaniso, V., Otsmaa, V., Voltri, V., Loorits, K., Peipman, T., Pukk, O., Õiger, K., Just, E., Just, A., Hartšuk, A.** (2012). Ehituskonstruktori käsiraamat. Tallinn: Ehitame. 577 lk.
 38. **Vihna, J.** (2007). Hygrothermal performance of timber-framed external walls in Finnish climatic conditions: a method for determining the sufficient water vapour resistance of the interior lining of a wall assembly. Doctoral thesis. Tampere University of Technology. Tampere. 380 pp.
 39. Soojusisolatsioon. (2016). Hoone piirdetarindi soojuslähivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire: Eesti standard EVS 908-1:2016. Tallinn: Eesti standardikeskus. [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-908-1-2016> (05.05.2019).

LISAD

Lisa 1. Hoonete füüsilise kulumi tabelid

Tabel 28. Elamu nr. 1 füüsiline kulum

JRK.	Hoone konstruktiiv- elementid (KE)	Konstruktiiv- elementide maksumuse osatähtsus %, (m)	Konstruktiiv- elementide füüsiline kulumus %, (f)	(m)x(f)	Kulumuse tunnused
1	vundamendid	9	21	189	Esineb pragusid ning keldri seinte märgumist
2	välisseinad	11	30	330	Ebapiisav välisseinte õhupidavus ja kohati krohvi maha langemine
3	vaheseinad	9	21	189	esineb sügavaid ja läbivaid pragusid naaberkonstruktsioonidega liitumisel
4	vahelaed	9	12	108	Krohvipraod
5	Katuse- konstruktsioonid	6	5	30	katuse-konstruktsioonidel ei fikseeritud suuremaid puudusi
6	katusekate	6	14	84	juurde ehitatud toa tõrvapapist katus vajab vahetust, ülejäänud plekk-katus on heas seisukorras
7	põrandad	10	41	410	1. korrusel on põrandad kulunud kogu pinna ulatuses
8	aknad	6	10	60	Aknad vajavad tihendamist ja teipimist
9	uksed	6	10	60	Ukseleht sulgub ebatihedalt
10	viimistlus	11	50	550	1. korrus vajab 100% ulatuses uut siseviimistlust.
11	küte	7	0	0	Küttesüsteemil puudusi ei fikseeritud
12	Vesivarustus ja kanalisatsioon	5	0	0	Vesivarustusel ja kanalisatsioonil puudusi ei fikseeritud
13	elekter	6	0	0	Tugevvoolu osas puudusi ei fikseeritud
	KOKKU			2010	
	Hoone füüsiline kulum (F_k)			20.1%	

Lisa 1 järg:

Tabel 29. Elamu nr. 2 füüsiline kulum

JRK.	Hoone konstruktiiv- elemendid (KE)	Konstruktiiv- elementide maksumuse osatähtsus %, (m)	Konstruktiiv- elementide füüsiline kulumus %, (f)	(m)x(f)	Kulumuse tunnused
1	vundamendid	9	24	216	Esineb pragusid ning keldri seinte märgumist
2	välisseinad	11	30	330	Ebapiisav välisseinte õhupidavus ja voodrilaudadel vigastused ning kulumine
3	vaheseinad	9	33	297	Krohvipinnas esineb sügavamaid pragusid, krohvikihit on osaliselt seinast lahti.
4	vahelaed	9	14	126	Krohvipraod ning lahtine krohv
5	Katuse- konstruktsioonid	6	11	66	Sarikad, pennid ja roovitus on rahuldavas seisukorras
6	katusekate	6	18	108	Vihmaveesüsteem vajab vahetust, katusekividel on ebatihed liitumine ning esineb pilusid kivide vahel
7	põrandad	10	56	560	Laudpõrandatel on palju vigastusi ning kohati on põrandad tappidest lahti.
8	aknad	6	100	600	Aknad on vanad ning amortiseerunud, maja soojapidavamaks saamiseks tuleks aknad välja vahetada
9	uksed	6	57	342	Uksed sulguvad ebatihedalt, esineb mehaanilisi vigastusi, uksetahvlid on ära vajunud
10	viimistlus	11	100	1100	Elamu vajab 100% ulatuses siseviimistluse uuendamist
11	küte	7	100	700	Gaasikatel on amortiseerunud ja vajab väljavahetust
12	Vesivarustus ja kanalisatsioon	5	39	195	Magistraalides esineb osaliselt torustiku korrosiooni.
13	elekter	6	100	600	Kogu juhtmestik on amortiseerunud ja vajab uuendamist kaasaegsemate vastu
	KOKKU			5240	
	Hoone füüsiline kulum (F _k)			52.4%	

Lisa 1 järg:

Tabel 30. Elamu nr. 3 füüsiline kulum

JRK.	Hoone konstruktiiv- elemendid (KE)	Konstruktiiv- elementide maksumuse osatähtsus %, (m)	Konstruktiiv- elementide füüsiline kulumus %, (f)	(m)x(f)	Kulumuse tunnused
1	vundamendid	9	7	63	Soklis esineb väiksemaid mõrasid
2	välisseinad	11	17	187	Esineb värvi koorumist, krohvipinnas on pragusid
3	vaheseinad	9	6	54	peened krohvipraod ja värvi vigastused
4	vahelaed	9	4	36	väiksemad krohvi vigastused
5	Katuse- konstruktsioonid	6	5	30	katuse-konstruktsioonidel ei fikseeritud suuremaid puudusi
6	katusekate	6	0	0	katusekattel ei fikseeritud puuduseid
7	põrandad	10	8	80	parkettpõrandatel üksikud puudused
8	aknad	6	10	60	tihendid vajavad väljavahetamist
9	uksed	6	10	60	tihendid vajavad väljavahetamist
10	viimistlus	11	17	187	esineb vähesel määral viimistluskihi kulumist ja vigastusi
11	küte	7	0	0	Küttesüsteemil puudusi ei fikseeritud
12	Vesivarustus ja kanalisatsioon	5	0	0	Veevarustusel ja kanalisatsioonil puudusi ei fikseeritud
13	elekter	6	0	0	Tugevvoolu osas puudusi ei fikseeritud
	KOKKU			757	
	Hoone füüsiline kulum (F _k)			7.57%	

Lisa 1 järg:

Tabel 31. Elamu nr. 4 füüsiline kulum

JRK.	Hoone konstruktiiv- elemendid (KE)	Konstruktiiv- elementide maksumuse osatähtsus %, (m)	Konstruktiiv- elementide füüsiline kulumus %, (f)	(m)x(f)	Kulumuse tunnused
1	vundamendid	9	37	333	vundamendis esineb sügavamaid pragusid
2	välisseinad	11	29	319	esineb krohvi maha langemist
3	vaheseinad	9	24	216	praod naaberkonstruktsioonidega liitumisel
4	vahelaed	9	6	54	krohvipraad
5	Katuse- konstruktsioonid	6	5	30	katuse-konstruktsioonidel ei fikseeritud suuremaid puudusi
6	katusekate	6	5	30	katusekattel ei fikseeritud puuduseid
7	põrandad	10	33	330	linoleumist põrandakate on vuugikohtadest lahti ning on kulunud
8	aknad	6	10	60	tihendid vajavad väljavahetamist
9	uksed	6	10	60	tihendid vajavad väljavahetamist
10	viimistlus	11	17	187	esineb viimistluskihi kulumist ja vigastusi
11	küte	7	0	0	Küttesüsteemil puudusi ei fikseeritud
12	Vesivarustus ja kanalisatsioon	5	0	0	Veevarustusel ja kanalisatsioonil puudusi ei fikseeritud
13	elekter	6	0	0	Tugevvoolu osas puudusi ei fikseeritud
	KOKKU			1619	
	Hoone füüsiline kulum (F _k)			16.19%	

Lisa 1 järg:

Tabel 32. Elamu nr. 5 füüsiline kulum

JRK.	Hoone konstruktiiv- elemendid (KE)	Konstruktiiv- elementide maksumuse osatähtsus %, (m)	Konstruktiiv- elementide füüsiline kulumus %, (f)	(m)x(f)	Kulumuse tunnused
1	vundamendid	9	8	72	väiksed praod soklis
2	välisseinad	11	9	99	välisseintes väiksemad vigastused
3	vaheseinad	9	11	99	väiksemad praod ja vigastused
4	vahelaed	9	6	54	krohvipraad
5	Katuse- konstruktsioonid	6	5	30	katuse-konstruktsioonidel ei fikseeritud suuremaid puudusi
6	katusekate	6	5	30	katusekattel ei fikseeritud puuduseid
7	põrandad	10	12	120	parkettpõrandatel väiksemad vigastused ja kulumised
8	aknad	6	10	60	tihendid vajavad väljavahetamist
9	uksed	6	10	60	tihendid vajavad väljavahetamist
10	viimistlus	11	14	154	esineb viimistluskihi kulumist ja vigastusi
11	küte	7	0	0	Küttesüsteemil puudusi ei fikseeritud
12	Vesivarustus ja kanalisatsioon	5	0	0	Veevarustusel ja kanalisatsioonil puudusi ei fikseeritud
13	elekter	6	0	0	Tugevvoolu osas puudusi ei fikseeritud
	KOKKU			778	
	Hoone füüsiline kulum (F_k)			7.78%	

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, HENN TOMSON,
(sünnipäev 08.06.1994)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Nõukogude ajal (1940-1991) ehitatud puitkarkasselamute seisukord ja renoveerimise võimalused, mille juhendaja(d) on nooremteadur Martti-Jaan Miljan MSc, spetsialist Matis Miljan BSc.

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 3.06.2019

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)